



**В. В. Белага
И. А. Ломаченков
Ю. А. Панебратцев**

Физика

8 класс

Учебник
для общеобразовательных
организаций

*Рекомендовано
Министерством образования и науки
Российской Федерации*

6-е издание

Москва
«Просвещение»
2018

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72
Б43

Серия «Сферы» основана в 2003 году

На учебник получены **положительные экспертные заключения** по результатам **научной** (заключение РАН № 10106-5215/8 от 29.09.2011 г.), **педагогической** (заключения РАО № 315 от 29.01.2014 г., № 356 от 05.02.2015 г.) и **общественной** (заключения РКС № 296 от 07.02.2014 г., № 1026 от 01.04.2015 г.) экспертиз.

Белага В. В.
Б43 **Физика. 8 класс : учеб. для общеобразоват. организаций / В. В. Белага, И. А. Ломаченков, Ю. А. Панебратцев. — 6-е изд. — М. : Просвещение, 2018. — 159 с. : ил. — (Сферы). — ISBN 978-5-09-058960-4.**

Данный учебник продолжает линию учебно-методических комплексов «Сферы» по физике. Издание подготовлено в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом основного общего образования и освещает вопросы курса физики для основной школы. Материал учебника направлен на формирование первых научных представлений о физических законах и явлениях и основывается на достижениях современной физики и техники. Главными особенностями данного учебника являются фиксированный в тематических разворотах формат, лаконичность и жёсткая структурированность текста, разнообразный иллюстративный ряд. Использование электронного приложения к учебнику позволит значительно расширить информацию (текстовую и визуальную) и научиться применять её при решении разнообразных физических задач и подготовке творческих работ.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72

ISBN 978-5-09-058960-4

© Издательство «Просвещение», 2012, 2015
© Художественное оформление.
Издательство «Просвещение», 2012, 2015
Все права защищены

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
----------------	---

I. ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

1. Температура и тепловое движение	8
2. Внутренняя энергия	10
3. Способы изменения внутренней энергии	12
4. Теплопроводность	14
5. Конвекция	16
6. Излучение	18
7. Количество теплоты	20
8. Удельная теплоёмкость. Расчёт количества теплоты	22
Подведём итоги	24

II. ИЗМЕНЕНИЯ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

9. Агрегатные состояния вещества	26
10. Плавление и отвердевание кристаллических тел	28
11. Удельная теплота плавления. Плавление аморфных тел	30
12. Испарение и конденсация. Насыщенный пар	32
13. Кипение	34
14. Удельная теплота парообразования	36
15. Влажность воздуха	38
Подведём итоги	40

III. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

16. Энергия топлива. Принципы работы тепловых двигателей	42
17. Двигатель внутреннего сгорания	44
18. Паровая турбина	46
19. Реактивный двигатель. Холодильные машины	48
20. Тепловые машины и экология	50
Подведём итоги	52

IV. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

21. Электризация тел. Электрический заряд	54
22. Электроскоп. Проводники и диэлектрики	56
23. Делимость электрического заряда. Электрон	58
24. Строение атомов. Ионы	60
25. Природа электризации тел. Закон сохранения заряда	62
26. Электрическое поле	64
27. Электрические явления в природе и технике	66
Подведём итоги	68

V. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

28. Электрический ток. Источники электрического тока	70
29. Гальванические элементы. Аккумуляторы	72
30. Электрический ток в различных средах	74
31. Примеры действия электрического тока	76

32. Электрическая цепь. Направление электрического тока	78
33. Сила тока	80
34. Электрическое напряжение	82
35. Электрическое сопротивление	84
36. Закон Ома	86
Решение задач	88
Подведём итоги	90

VI. РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

37. Расчёт сопротивления проводника	92
38. Последовательное и параллельное соединение проводников	94
39. Сопротивление при последовательном и параллельном соединении проводников	96
40. Работа электрического тока. Закон Джоуля—Ленца	98
41. Мощность электрического тока	100
42. Электрические нагревательные приборы	102
Решение задач	104
Подведём итоги	106

VII. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

43. Магнитное поле прямолинейного тока	108
44. Магнитное поле катушки с током	110
45. Постоянные магниты	112
46. Магнитное поле Земли	114
47. Действие магнитного поля на проводник с током. Электродвигатели	116
Подведём итоги	118

VIII. ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ

48. Система отсчёта. Перемещение	120
49. Перемещение и описание движения	122
50. Графическое представление равномерного прямолинейного движения	124
51. Скорость при неравномерном движении	126
52. Ускорение и скорость при равнопеременном движении	128
53. Перемещение при равнопеременном движении	130
Решение задач	132
Подведём итоги	134

IX. ОСНОВЫ ДИНАМИКИ

54. Инерция и первый закон Ньютона	136
55. Второй закон Ньютона	138
56. Третий закон Ньютона	140
57. Импульс силы. Импульс тела	142
58. Закон сохранения импульса	144
59. Реактивное движение	146
Решение задач	148
Подведём итоги	150

Имена в истории физики	151
Заключение	159

ВВЕДЕНИЕ

Дорогие ребята! В 7 классе вы начали изучать одну из наиболее интересных и сложных наук о природе — физику. Вы узнали, что окружающий вас мир физических явлений многообразен. Вы познакомились с основами строения вещества, с основными характеристиками механических явлений. Также вы познакомились с такими важными физическими терминами, как сила, работа, мощность и энергия.

Дальнейшее изучение физических явлений позволит вам существенно расширить свой кругозор и получить новые знания. В 8 классе мы расскажем вам, что такое температура и как она связана с движением молекул, вы поймёте, почему вещество может переходить из одного состояния в другое, что такое внутренняя энергия. В этом году вы впервые начнёте изучать электрические и магнитные явления. Вы познакомитесь с такими важными терминами, как электрический заряд, электрическое и магнитное поле, электрический ток и др.

Полученные знания помогут вам лучше понять, как работают разнообразные технические устройства и механизмы, окружающие вас в повседневной жизни. Вы узнаете, как работают тепловые двигатели, поймёте принципы работы двигателя внутреннего сгорания, которым оснащено большинство автомобилей. Вам станет понятно, почему светятся электрические лампочки и нагреваются утюги.

В 7 классе вы узнали достаточно много о механических явлениях и устройствах, познакомились с законами механики. Это и закон Архимеда, и простые механизмы, и «золотое правило» механики. В 8 классе вы продолжите изучение механических явлений на более глубоком уровне и познакомитесь с важнейшими законами механики — законами Ньютона. Это даст вам возможность решать широкий круг практических задач о движении и взаимодействии тел.

Получение любого нового знания всегда требует от человека некоторых усилий. Но, как говорил великий русский учёный М. В. Ломоносов, «неусыпный труд все препятствия преодолевает». Физика в этом смысле не является исключением. Один из выдающихся физиков XX в., лауреат Нобелевской премии Л. Д. Ландау писал: «Для того чтобы понять физику, приходится очень часто задумываться крепко и напряжённо».

Усвоить материал, содержащийся в учебнике, вам помогут тетрадь-практикум, тетрадь-тренажёр, тетрадь-экзаменатор, задачник, а также электронное приложение, которые составляют единый комплект.

Желаем вам успехов на пути постижения новых знаний!



Физический
блокнот

МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ

В ФОКУСЕ

Физический калейдоскоп

ВНИМАНИЕ!

РАБОТАЕМ С УЧЕБНИКОМ

Учебник состоит из девяти тем, каждая из которых разделена на параграфы. Перед каждой темой в рубрике «Коротко о главном...» приводится высказывание одного из великих учёных, которое отражает суть содержания темы.

Параграф начинается с вводных рубрик: «Вы узнаете», «Вспомните». Рубрика «Вы узнаете» познакомит вас с основными вопросами, которые изучаются в параграфе. Рубрика «Вспомните» подскажет, что необходимо вспомнить из ранее изученного материала, для того чтобы усвоить новый.

Основной текст параграфа сопровождают рубрики, которые помогут вам глубже понять наиболее важный материал.

Рубрика «Мои физические исследования» поможет вам научиться проводить физические опыты, иллюстрирующие физические законы.

В рубрике «Физический блокнот» содержатся интересные сведения и дополнительная информация к основному тексту параграфа.

Рубрика «В фокусе» отражает основную информацию, содержащуюся в параграфе.

Рубрика «Физический калейдоскоп» иллюстрирует текст параграфа примерами из жизни и техники.

Физические законы и формулы, данные в параграфе, выделены в рубрике «Внимание!».

Информация о традиционном эксперименте, на основе которого строится объяснение материала параграфа, отделена от основного текста знаком «Демонстрационный опыт».

Графический элемент в виде лупы акцентирует ваше внимание на содержании рисунка, детализирует изображение физического явления или процесса.

В темах, в которых необходимо более подробно рассмотреть решение физических задач, содержится раздел «Решение задач».

В параграфе также даны ссылки в виде стрелок. Они показывают, что изучение данного материала невозможно без использования задачника или тетради практикума.

На последней странице каждой главы содержатся рубрики «Подведём итоги», «Вопросы для обсуждения», ссылки на дополнительные информационные источники и обобщающие схемы, позволяющие представить материал главы в единстве и взаимосвязи в лаконичной схематичной форме.

В рубрике «Подведём итоги» приводятся основные выводы и идеи, содержащиеся в главе.

Вопросы, содержащиеся в рубрике «Вопросы для обсуждения», носят проблемный характер и могут стать интересной темой для дискуссии.

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

- ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ
- ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ
- СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ
- ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ
- КОНВЕКЦИЯ
- ИЗЛУЧЕНИЕ
- КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ
- УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ. РАСЧЁТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ



КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

То, что теплота заключается в некотором движении малых частиц тела, теперь уже достаточно ясно.
Л. Эйлер

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое тепловое движение.
- Как связана температура тела со скоростью движения молекул и их кинетической энергией.
- Что характеризует температура.
- Как измеряется температура.
- Каковы основные температурные шкалы.

ВСПОМНИТЕ:

- Какие физические явления называются тепловыми?
- Из чего состоят все вещества?
- Что такое броуновское движение и диффузия?
- Что называют кинетической энергией?



Андерс Цельсий
(1701—1744)

Шведский учёный, предложивший стоградусную температурную шкалу.

Поскольку кинетическая энергия зависит и от скорости движения молекулы, и от её массы, то температура также зависит не только от скорости движения частиц, составляющих вещество, но и от их массы. Поэтому при одинаковой средней скорости движения молекул вещество, у которого масса молекулы больше, будет иметь большую температуру.

ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ

Явления, связанные с изменением температуры тел, а также с переходом вещества из одного состояния в другое, называют тепловыми, они составляют неотъемлемую часть окружающего мира. Мы используем в быту слова «горячий», «холодный» и т. д. для обозначения наших представлений о тепловом состоянии тела.

ТЕПЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ МОЛЕКУЛ Нагреем сосуд с водой, содержащей взвесь мельчайших твёрдых частиц. Беспорядочное движение отдельной частицы взвеси, называемое броуновским движением, обусловлено хаотическим движением самих молекул жидкости. По мере нагрева воды скорость движения частицы заметно увеличивается. Так что же изменилось? Молекулы холодной воды не отличаются от молекул горячей воды. Поэтому можно сделать вывод о том, что скорость движения броуновской частицы увеличилась, так как увеличилась средняя скорость движения молекул воды. Это означает, что скорость движения молекул и тепловое состояние тела связаны между собой.

Именно поэтому хаотичное движение частиц, из которых состоят тела, называют **тепловым движением**.



В тепловом движении участвуют все частицы, составляющие вещество, — молекулы или атомы, независимо от того, в каком агрегатном состоянии находится это вещество. Изменение характера теплового движения молекул вещества может приводить к изменению его свойств. Например, по мере нагрева лёд начинает превращаться в воду.

СРЕДНЯЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ МОЛЕКУЛ Любое движущееся тело обладает кинетической энергией, которая зависит от его массы и скорости движения. Поскольку молекула движется и имеет массу, значит, она обладает кинетической энергией. При возрастании скорости движения молекул увеличивается и их кинетическая энергия. Число молекул, составляющих тело, очень велико, и скорости отдельных молекул могут существенно различаться, поэтому нужно говорить не о кинетической энергии одной молекулы, а о средней кинетической энергии молекул тела.

ТЕМПЕРАТУРА Для того чтобы характеризовать тепловое состояние тела, мы используем физическую величину, называемую **температурой**. По температуре тела можно судить о скорости движения, а соответственно и о

кинетической энергии молекул. Опыты показывают, что явление диффузии при более высокой температуре происходит быстрее. Таким образом, *температура является мерой средней кинетической энергии молекул тела*. Чем больше средняя кинетическая энергия молекул тела, тем выше температура тела.

ТЕРМОМЕТРЫ Мы знаем, что температура мороженого ниже, чем температура горячего чая. Однако наши ощущения неоднозначны и зависят от состояния человека и окружающей среды. Например, в одной и той же комнате металлические предметы всегда кажутся на ощупь более холодными, чем деревянные или пластмассовые. Поэтому для того, чтобы сделать выводы о температуре тела, её необходимо измерить.

Для измерения температуры используют специальные измерительные приборы — *термометры*.

Вы уже знаете, что тела при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. Действие термометра основано на зависимости объёма тела от температуры. Вещество, используемое в термометре, увеличивается в объёме при увеличении температуры, а при охлаждении уменьшается в объёме. В термометрах могут быть использованы различные вещества: жидкие (спирт, ртуть), твёрдые (металлы) или газообразные.



Термометр, как и любой измерительный прибор, имеет *шкалу*. Для построения шкалы температур выбираются две основные (реперные) точки, которым приписывают определённые значения температуры. Затем интервал между ними делят на несколько равных частей, которые соответствуют единицам данной температурной шкалы.

Используемые нами в быту термометры показывают температуру в *градусах Цельсия* ($^{\circ}\text{C}$). В этой температурной шкале за нуль принимается температура таяния льда, а за 100° — температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении. Расстояние между отметками делится на 100 равных частей, и образуются деления по 1°C .

АБСОЛЮТНАЯ ШКАЛА ТЕМПЕРАТУР В 1848 г. английский физик Уильям Томсон предложил ввести новую шкалу температур, которую называют абсолютной или термодинамической шкалой температур. Температура, измеренная по этой шкале, называется *абсолютной* или *термодинамической температурой*. Единица абсолютной температуры — *кельвин* (К); $1\text{ К} = 1^{\circ}\text{C}$. В абсолютной шкале температура таяния льда равна $273,15\text{ К}$, а температура кипения воды равна $373,15\text{ К}$.

Первоначально у А. Цельсия температура кипения воды была принята за 0 градусов, а таяния льда — за 100 градусов. А «перевернули» шкалу Цельсия его же соотечественники: ботаник К. Линней и астроном М. Штрёмер. Вот этим «перевернутым» термометром мы теперь и пользуемся.



Уильям Томсон (Кельвин)
(1824—1907)

Английский физик, один из основоположников термодинамики.

ВОПРОСЫ:

- Пылинкам, находящимся в воздухе, присуще хаотичное движение. Можно ли это движение назвать тепловым?
- Как температура тела связана со скоростью движения его молекул?
- На чём основано действие термометра?
- Какие температурные шкалы вы знаете?

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое внутренняя энергия тела.
- От каких факторов зависит внутренняя энергия.

ВСПОМНИТЕ:

- Какие бывают виды механической энергии?
- Какие тела обладают потенциальной энергией?
- Какие тела обладают кинетической энергией?
- В чём заключается закон сохранения механической энергии?

Механическая энергия тела складывается из его потенциальной и кинетической энергий. Один из самых фундаментальных законов природы — закон сохранения энергии гласит, что энергия никогда не исчезает и не возникает «из ничего», она только переходит из одного вида в другой и от одного тела к другому.

ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Поднимем резиновый мячик над полом и отпустим его. Мячик начнёт падать на пол, и его потенциальная энергия будет переходить в кинетическую. После падения мячик отскочит вверх, а его кинетическая энергия будет превращаться в потенциальную. Высота, на которую подпрыгивает мячик, с каждым разом становится всё меньше, и мячик останавливается. Означает ли это, что нарушился основной закон механики и энергия бесследно исчезла?

Проведем ещё один опыт. Для этого возьмём свинцовую плиту. Поднимем над ней свинцовый шар и отпустим. Подняв шар, мы сообщаем ему запас потенциальной энергии. При падении шар опускается всё ниже и ниже, и его потенциальная энергия уменьшается. Но в то же время скорость шара увеличивается, следовательно, кинетическая энергия возрастает. После того как шар ударится о плиту, он остановится. Кинетическая и потенциальная энергии шара относительно плиты в этот момент равны нулю. Куда исчезла механическая энергия шара?

Механическая энергия превратилась в другую форму энергии. После удара состояние шара и плиты изменилось — они деформировались. На плите образовалась небольшая вмятина, а шар немного сплюснулся. Если измерить их температуру сразу после удара, обнаружится, что и шар, и плита нагрелись. Следовательно, изменился характер движения частиц, составляющих эти тела. А значит, изменилась и их энергия.

Увеличение температуры связано с увеличением кинетической энергии молекул (атомов) тела. Вы знаете, что характер взаимодействия молекул друг с другом зависит от расстояний между ними: они либо притягиваются, либо отталкиваются. Это означает, что молекулы (атомы) обладают также и потенциальной энергией. Деформация тела приводит к изменению взаимного расположения его молекул и соответственно их потенциальной энергии. Рассматривая наш опыт, можно утверждать, что механическая энергия, которой обладал шар вначале, не исчезла бесследно. Произошла дефор-



В опыте с резиновым мячиком причина убывания механической энергии заключается в наличии сил трения, связанных с сопротивлением воздуха и деформациями в материале мяча и пола. Механическая энергия тратится на работу, совершаемую против сил трения, и в итоге переходит в энергию молекул. При движении в воздухе с небольшими скоростями тела практически не нагреваются. Однако при движении с большими скоростями нагревание уже заметно (движение пули, движение космического корабля при запуске и посадке и пр.).

мация тела, изменилась его температура, т. е. изменились потенциальная и кинетическая энергии частиц, составляющих данное тело.

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ Энергию движения и взаимодействия частиц, из которых состоят тела, называют **внутренней энергией тела**. Внутреннюю энергию обозначают буквой U . Единицей внутренней энергии является *джоуль* (1 Дж).

ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ Чем больше скорость движения молекул (а следовательно, и их кинетическая энергия), тем выше температура тела. Значит, *внутренняя энергия тела зависит от температуры тела*.

При повышении температуры внутренняя энергия тела увеличивается, так как увеличивается средняя кинетическая энергия молекул.

При понижении температуры внутренняя энергия уменьшается.

Внутренняя энергия тела зависит от его агрегатного состояния. Действительно, в твёрдых телах, жидкостях и газах различаются как расстояния между молекулами, так и характер движения самих молекул. Следовательно, различны и потенциальная и кинетическая энергии молекул.

Внутренняя энергия тела складывается из потенциальной и кинетической энергий всех его молекул.

Поэтому, чем больше молекул в теле, тем больше его внутренняя энергия. Так как масса тела складывается из масс составляющих его частиц, то *внутренняя энергия зависит от массы тела* при прочих равных условиях.

ОТ ЧЕГО НЕ ЗАВИСИТ ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

Внутренняя энергия тела не зависит ни от механического движения тела как целого, ни от положения этого тела относительно других тел. Например, внутренняя энергия нагретого до кипения чайника с водой не зависит от того, стоит ли он на столе, или его несут из одной комнаты в другую.

ВСЕОБЩИЙ ХАРАКТЕР ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

В процессе изучения тепловых явлений физикам стало понятно, что при переходе механической энергии во внутреннюю полная энергия сохраняется. С развитием физики человечество открывало всё новые и новые виды энергии.

Фундаментальность закона сохранения энергии заключается в том, что, несмотря на возможные переходы энергии из одной формы в другую, полная энергия остаётся величиной постоянной.

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

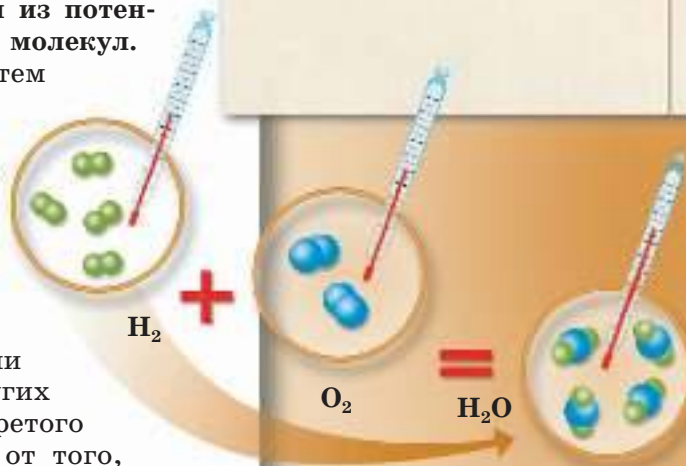
Кинетическая энергия движущихся молекул



Потенциальная энергия взаимодействия молекул



Причиной изменения внутренней энергии может служить также химическая реакция, т. е. реакция, в результате которой одно вещество превращается в другое, отличающееся по свойствам и составу. При такой реакции атомы и молекулы перегруппировываются, что, как правило, влечёт за собой изменение их потенциальной и кинетической энергий.



ВОПРОСЫ:

- Какую энергию называют внутренней энергией тела?
- Какой опыт свидетельствует о переходе механической энергии во внутреннюю?
- От чего зависит и от чего не зависит внутренняя энергия тела?
- Тело разделили на две части. Изменилась ли при этом суммарная внутренняя энергия?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как можно изменить внутреннюю энергию тела.
- Что такое теплопередача.

ВСПОМНИТЕ:

- Как связаны между собой температура тела и средняя кинетическая энергия молекул?
- Что такое внутренняя энергия тела?
- От чего зависит внутренняя энергия тела?

СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ

Чтобы понять, каким способом можно изменить внутреннюю энергию, необходимо знать, от чего она зависит. Мы уже знаем, что внутренняя энергия зависит от средней кинетической энергии частиц, составляющих тело, и, следовательно, от его температуры. Значит, для изменения внутренней энергии тела нужно изменить его температуру.

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ И РАБОТА Совершая работу, мы можем изменить, например, потенциальную энергию тела. Подняв тело над поверхностью земли, мы тем самым увеличили его потенциальную энергию. Совершив работу, можно также изменить и внутреннюю энергию тела.

При трении тела нагреваются. Если потереть одну ладонь о другую, кожа нагреется. Если быстро спуститься по спортивному канату, то кожу на ладонях можно даже обжечь. Нагревание при трении люди использовали в древности для добывания огня. В наше время одним из способов добывания огня является трение спичечной головки о спичечный коробок.

В специализированной физической лаборатории при соблюдении всех мер предосторожности можно провести следующий опыт. На подставке укрепляется тонкостенная латунная трубка. В неё наливается немного эфира, и она закрывается пробкой. Затем трубка обвивается верёвкой. Если быстро натирать трубку верёвкой, то через некоторое время эфир закипит и пар вытолкнет пробку.

Этот опыт показывает, что внутренняя энергия эфира увеличилась, ведь он нагрелся и даже закипел. *А причиной изменения внутренней энергии эфира стала наша работа против сил трения.*

Увеличить внутреннюю энергию тела можно путём деформации. Если несколько раз ударить молотком по свинцовому шарiku, он деформируется и заметно нагреется. Совершённая при этом работа приведёт к изменению взаимного расположения атомов свинца и к изменению характера их движения.

Рассмотрим пример, когда совершённая работа приводит к уменьшению внутренней энергии тела. В стеклянный толстостенный сосуд, закрытый резиновой пробкой, с помощью насоса нагнетается воздух, содержащий водяной пар. Через некоторое время пробка вылетает из сосуда, а в самом сосуде образуется туман, представляющий собой мельчайшие капельки воды.

Накачивая воздух в сосуд, мы совершаем работу. Число молекул в сосуде возрастает, увеличивается частота и сила их ударов, возрастает скорость их движения, и, следовательно, увеличивается внутренняя энергия и температура воздуха в сосуде. Затем сжатый

Именно из-за того, что температура в сосуде понижается, и появляется туман. Как и почему это происходит, мы с вами обсудим немного позднее. Всем, кто открывал бутылки с лимонадом, это явление хорошо знакомо: над горлышком появляется туман.



воздух выталкивает пробку, совершая работу. При этом его внутренняя энергия уменьшается, и температура воздуха в сосуде понижается.

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Внутреннюю энергию тела можно изменить и *без совершения механической работы*. Например, внутреннюю энергию воды можно увеличить, нагрев на плите чайник. Если поставить горячую кастрюлю на холодную подставку, то с течением времени она остынет. Во всех приведённых примерах внутренняя энергия изменяется, хотя работа при этом не совершается.

Опустим металлическую ложку в стакан с горячей водой. Начальная температура воды выше температуры ложки. Значит, средняя кинетическая энергия молекул воды больше кинетической энергии частиц холодного металла. Молекулы воды, сталкиваясь с атомами металла, передают им часть своей энергии. При этом кинетическая энергия частиц металла увеличивается, а кинетическая энергия молекул воды уменьшается. В результате температура воды уменьшится, а температура ложки увеличится. С течением времени их температуры станут равными.



При непосредственном контакте двух тел с разными температурами происходит передача энергии от тела с более высокой температурой к телу, температура которого изначально была ниже. При этом внутренняя энергия тела с более высокой температурой уменьшается, а внутренняя энергия тела с меньшей температурой увеличивается.

Процесс передачи энергии от более нагретого тела или участков тела к менее нагретым называют **теплопередачей** или **теплообменом**.

Когда температуры тел становятся равными, теплопередача прекращается. При этом процесс теплопередачи необратим. Это означает, что невозможен самопроизвольный процесс передачи внутренней энергии от холодного тела к нагретому.



В XVIII в. французскими химиками была выдвинута идея теплорода — некой субстанции, объясняющей явления, связанные с теплотой и теплопередачей. Считалось, что частицы теплорода отталкиваются друг от друга, но притягивают частицы других веществ. Повышение температуры тела связывалось с увеличением количества теплорода, а понижение температуры — с его уменьшением. В середине XIX в. теория теплорода была отвергнута. Ей на смену пришла молекулярно-кинетическая теория строения вещества.



Бенджамин Томпсон
(граф Румфорд)
(1753—1814)

Английский физик. В его честь Лондонское королевское общество учредило награду для выдающихся учёных — медаль Румфорда.

В 1798 г. Румфорд сделал важное наблюдение: при высверливании канала в пушечном стволе выделяется большое количество тепла. Для более точного исследования он проделал опыт по сверлению канала в цилиндре, выточенном из пушечного металла. В высверленный канал поместили тупое сверло, плотно прижатое к стенкам канала и приводившееся во вращение. Термометр, вставленный в цилиндр, показал, что за 30 мин операции температура повысилась на десятки градусов Цельсия. Румфорд повторил опыт, погрузив цилиндр и сверло в сосуд с водой. В процессе сверления вода нагрелась и спустя 2,5 ч закипела. Этот опыт Румфорд считал доказательством того, что теплота является формой движения.

ВОПРОСЫ:

- Как изменяется внутренняя энергия тела, когда над ним совершают работу?
- Какой опыт показывает, что за счёт внутренней энергии тело может совершить работу?
- Что такое теплопередача?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое теплопроводность.
- Как различаются теплопроводности веществ.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое теплопередача?



Когда хотят вскипятить воду на костре, котелок с водой вешают на деревянную палку. Именно благодаря низкой теплопроводности дерева мы можем спокойно снять котелок с кипящей водой с костра и не обжечься. Низкая теплопроводность дерева используется с древности при изготовлении, например, факелов.



ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Теплопередача является одним из способов передачи внутренней энергии от одного тела к другому. Существует три вида теплопередачи.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ Когда вы опускаете чайную ложку в стакан с горячим чаем, то нагревается не только часть ложки, опущенная в воду, но постепенно и та часть ложки, которая находится над водой. Значит, внутренняя энергия может переходить не только от одного тела к другому, но и от одной части тела к другой части того же тела.

Проведём следующий опыт. В штативе закрепим толстую металлическую проволоку, к которой при помощи воска прикрепим несколько гвоздиков. Нагреем свободный конец проволоки. Сначала от нагревания размягчается воск, который удерживает ближайший от пламени гвоздик. Спустя некоторое время этот гвоздик отрывается от стержня и падает. Затем падает второй гвоздик, третий и т. д. Следовательно, стержень проводит тепло.

Как объясняется это явление? В проволоке, как и во всех твёрдых телах, атомы совершают колебательные движения около некоторых положений равновесия. При нагревании проволоки в месте её контакта с горелкой скорость колебательного движения атомов металла увеличивается. Эти атомы, взаимодействуя с соседними атомами, передают им часть своей энергии. Таким образом, в результате теплопередачи постепенно нагревается вся проволока.



Важно отметить, что в твёрдых телах сами атомы, передавая кинетическую энергию, не меняют своё местоположение, т. е. само вещество не перемещается.

Явление передачи внутренней энергии от одной части тела к другой или от одного тела к другому при их непосредственном контакте называют **теплопроводностью**. При теплопроводности само вещество не перемещается от одной части тела к другой.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ Разные вещества имеют неодинаковую теплопроводность. Если один конец деревянной сухой палки держать в руке, а второй конец опустить в костёр, мы не почувствуем нагрева палки до тех пор, пока огонь не коснётся руки. Если же в этом опыте вместо палки взять металлический прут, то свободный конец достаточно быстро станет очень горячим и держать его в руке мы уже не сможем. Всё дело в том, что металлы обладают гораздо большей теплопроводностью, чем дерево.

Рассмотрим следующий опыт. Верхние концы стержней одинакового размера из меди, алюминия, железа, стекла и дерева прогреваются горячей водой. К нижним концам этих стержней прикреплены воском гвоздики. Быстрее всего гвоздик отпадает от медного стержня, значит, медь очень хороший проводник тепла. Через некоторое время гвоздик отпадает от алюминиевого стержня, затем — от железного, и только потом от стеклянного. От деревянного стержня, имеющего низкую теплопроводность, гвоздик не отпадёт.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ Возьмём пробирку с водой и погрузим в неё кусочек льда, а чтобы он не всплыл вверх (лёд легче воды), придавим его медным грузиком. Но при этом вода должна иметь свободный доступ ко льду. Начнём нагревать верхнюю часть пробирки. Вскоре вода у поверхности закипит, выделяя клубы пара. Но при этом лёд на дне пробирки так и не растает. Это означает, что *у жидкостей теплопроводность невелика* (за исключением ртути и расплавленных металлов).

У газов теплопроводность ещё меньше. Это можно проверить на следующем опыте. В сухую пробирку, закрытую резиновой пробкой с маленьким отверстием, вставим металлическую спицу. Держа спицу в руке, нагреем пробирку в пламени спиртовки доньшком вверх. Несмотря на высокую теплопроводность металла, рука долго не почувствует тепла, так как воздух в пробирке имеет очень низкую теплопроводность и спица практически не нагреется.

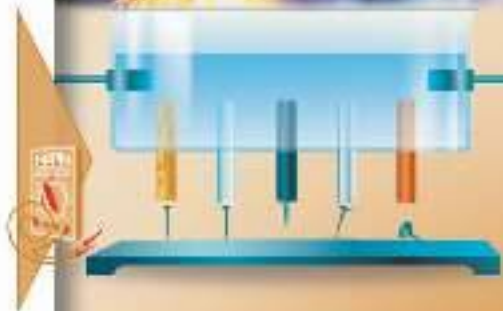
Уменьшение теплопроводности газов по сравнению с твёрдыми телами связано с увеличением расстояния между молекулами. Так как передача тепла обусловлена передачей кинетической энергии между молекулами, с увеличением межмолекулярного расстояния эта передача становится всё более затруднительной.



Вещества с плохой теплопроводностью одинаково хорошо могут использоваться для поддержания тел как в холодном состоянии, так и в нагретом.

Плохая теплопроводность снега позволяет сохранить озимые растения в холодные зимы. Поэтому в бесснежные зимы часто происходит вымерзание озимых посевов на полях. Низкая теплопроводность воздуха, заключённого между перьями птиц, шерстинками меха животных, обеспечивает им эффективную защиту от холода. Низкой теплопроводностью обладают все пористые вещества, например пробка или бумага.

Вещества с низкой теплопроводностью широко применяются в быту и технике. Для защиты от холода люди с древности возводили жилища из дерева и камня. Для защиты от ожога на металлических кастрюлях и чайниках делают пластиковые или деревянные ручки. Хорошая теплопроводность металлов, таких, как алюминий и медь, используется при изготовлении деталей охлаждающих устройств.



Способностью передавать тепло, или теплопроводностью, обладают все вещества: и твёрдые, и жидкие, и газообразные. Однако теплопроводность различных веществ неодинакова. Лучшими проводниками тепла являются металлы. Хуже всего проводят тепло газы. Известно, что теплопроводность воздуха в 20 000 раз меньше теплопроводности меди.

Самую низкую теплопроводность имеет вакуум. Так называют пространство, в котором отсутствуют атомы и молекулы. Теплопроводность вакуума близка к нулю.

ВОПРОСЫ:

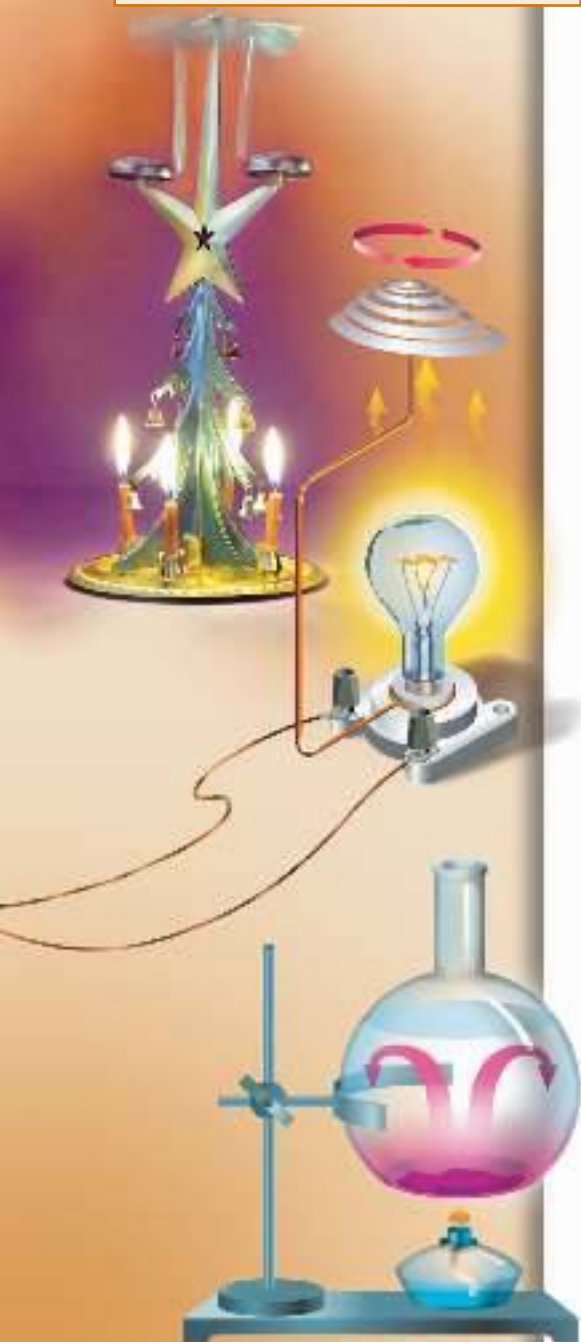
- Чем объясняется теплопроводность?
- Чем объясняется плохая теплопроводность газов?
- Почему пористые вещества обладают низкой теплопроводностью?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое конвекция.
- Какие виды конвекции существуют.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое теплопередача?
- Что такое теплопроводность?
- Что происходит с телами при нагревании?



КОНВЕКЦИЯ

Если жидкости и газы обладают низкой теплопроводностью, то как же тогда нам удаётся достаточно быстро прогреть воздух в помещении и вскипятить воду?

ЯВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ВОЗДУХЕ Находясь рядом с горячей плитой, можно почувствовать тёплые струи воздуха, поднимающиеся над ней. Этот же эффект хорошо ощущается, если сверху поднести руку к горячей свече или горячей электрической лампочке.

Это физическое явление используется в игрушке «музыкальная ёлочка». Когда зажигаются свечки, под действием возникающих струй тёплого воздуха, направленных вверх, вертушка начинает вращаться, а колокольчики — звенеть.

Если сделать из бумаги спираль и поместить её над включённой электрической лампочкой, как показано на рисунке, под действием поднимающегося нагретого воздуха спираль начнёт вращаться.

В этом опыте, так же как и в игрушке «музыкальная ёлочка», происходит нагревание воздуха, находящегося вблизи горячей лампочки или свечи. При этом он расширяется, и его плотность становится меньше плотности окружающего холодного воздуха. Под действием выталкивающей (архимедовой) силы со стороны холодного воздуха тёплый воздух вытесняется вверх. Образовавшийся воздушный поток и вращает спираль.

ЯВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ЖИДКОСТИ Аналогичные явления происходят и при нагревании жидкости, если источник тепла находится снизу.

Нагретые слои жидкости имеют меньшую плотность. Поэтому сила тяжести, действующая на них, становится меньше архимедовой силы, действующей на эти слои со стороны окружающей жидкости. Вследствие этого нагретые слои воды начинают подниматься вверх, а на их место опускаются более холодные слои жидкости. Этот процесс продолжается до тех пор, пока вся жидкость не прогреется одинаково по всему объёму.

Рассмотрим следующий опыт. На дно колбы с водой аккуратно опустим несколько кристалликов любого красителя (например, марганцовокислого калия). Начнём нагревать колбу снизу. Сразу станет хорошо видно, как со дна колбы поднимаются окрашенные струйки воды. ➡

КОНВЕКЦИЯ При нагревании воздуха или воды снизу происходит теплопередача, обусловленная переносом вещества и отличающаяся от теплопроводности. Этот процесс называют **конвекцией** (от лат. *convectio* — перенесение).



Конвекция — это вид теплопередачи, при котором энергия передаётся потоками (или струями) жидкости или газа.

В 7 классе мы говорили о том, что строение твёрдых тел отличается от строения жидкостей и газов. В твёрдых телах перенос вещества невозможен, поэтому конвекция наблюдается только в жидкостях и газах. В твёрдых телах она не происходит.

В закрытом помещении при работе отопительных приборов всегда возникает явление конвекции. Поэтому разница температур воздуха у пола и вблизи потолка может достигать нескольких градусов.

ЕСТЕСТВЕННАЯ И ВЫНУЖДЕННАЯ КОНВЕКЦИЯ Различают два вида конвекции: естественную и вынужденную. Рассмотренные выше процессы нагревания воздуха и жидкости являются примерами естественной конвекции. Для её возникновения требуется либо подогрев жидкости или газа снизу, либо охлаждение сверху.

Вынужденная конвекция наблюдается в случае, когда потоки нагретой или охлаждённой жидкости или газа переносятся под действием насосов или вентиляторов.

КОНВЕКЦИЯ В ПРИРОДЕ Конвекция является очень распространённым явлением в природе. Она выполняет основную роль в образовании в атмосфере потоков воздуха — ветров. Нагреваясь над одними участками земли и охлаждаясь над другими, воздух начинает циркулировать, перенося с собой энергию и влагу.

Эти же причины порождают *дневные и ночные бризы* — ветры, попеременно дующие от моря к суше днём и от суши к морю ночью. В течение дня температура земли становится заметно выше, чем температура моря. Соответственно и воздух, соприкасающийся с землёй, теплеет, расширяется и его плотность уменьшается. За счёт явления конвекции возникает циркулирующее течение воздушных масс. Ночью происходит обратный процесс, так как земля охлаждается до температуры, которая ниже, чем температура моря.

Благодаря конвекции птицы способны подолгу парить в воздухе. Разные участки земли прогреваются по-разному, и из-за этого возникают восходящие воздушные потоки. Эти же потоки используются при полётах на дельтапланах.

Из-за конвекции нагретый пар из труб котельных и дым из печных труб при отсутствии ветра поднимаются вверх, так как имеют более низкую плотность, чем окружающий воздух.

В быту мы привыкли к тому, что при нагреве воды источник тепла располагается снизу. Нагревательные приборы в комнате также всегда расположены внизу.

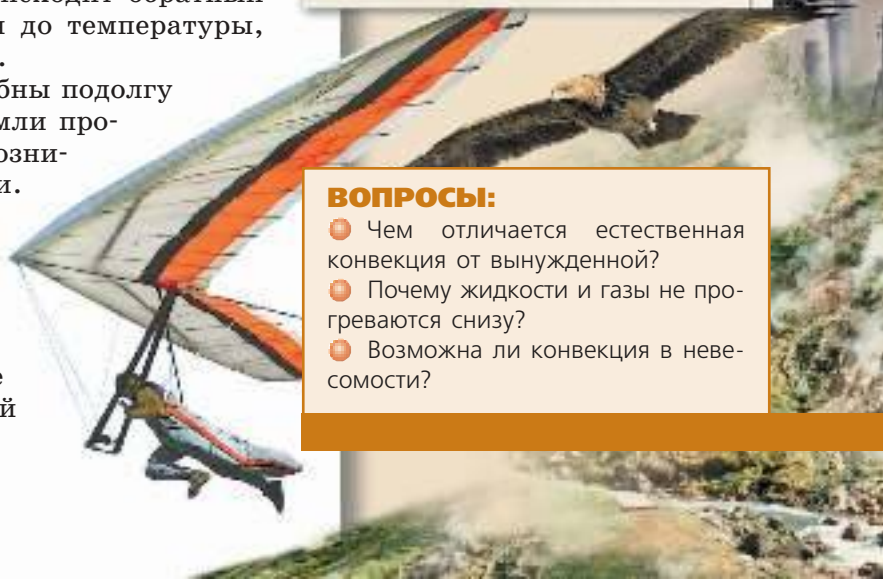
Опыты показывают, что при нагревании сверху как жидкостей, так и газов конвекции не происходит. В этом случае просто не возникает выталкивающая сила, так как нагретые слои с меньшей плотностью располагаются сверху.



Естественная и вынужденная конвекция лежат в основе действия отопительной системы зданий. Нагревание воды может производиться либо непосредственно в здании при помощи специального котла, либо за пределами отапливаемого помещения при наличии системы центрального отопления. Горячая вода, поступающая в дом или нагретая в котле, поднимается вверх, а затем спускается по трубам и распределяется по помещениям, отдавая тепло в радиаторах.

ВОПРОСЫ:

- Чем отличается естественная конвекция от вынужденной?
- Почему жидкости и газы не прогреваются снизу?
- Возможна ли конвекция в невесомости?



ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое излучение.

ВСПОМНИТЕ:

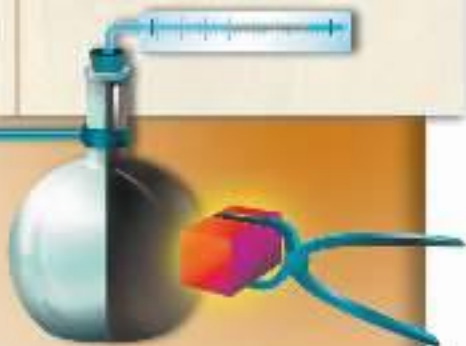
- Что такое теплопроводность?
- Что такое конвекция?



Пётр Николаевич Лебедев
(1866—1912)

Российский физик, основоположник первой русской научной школы физиков.

При изучении природы излучения были сделаны важные открытия. Одно из них — давление света, т. е. давление, производимое светом на тела, впервые было экспериментально открыто и измерено выдающимся российским физиком П. Н. Лебедевым. Величина этого давления даже для самых сильных источников света ничтожно мала в земных условиях. Для обнаружения давления света Лебедев изготовил специальные приборы и проделал опыты, представляющие замечательный пример искусства эксперимента.



ИЗЛУЧЕНИЕ

Основным источником тепла на нашей планете является Солнце, которое находится на расстоянии 150 млн км от Земли. Как же осуществляется теплопередача от Солнца?

ИЗЛУЧЕНИЕ За пределами земной атмосферы пространство между Землёй и Солнцем содержит очень разреженное вещество. В вакууме перенос энергии путём теплопроводности практически невозможен. Нельзя здесь говорить и о конвекции. Говоря о переносе энергии от Солнца к Земле, мы сталкиваемся с новым видом теплопередачи, который называется *излучением*. Испускание и поглощение излучения играют огромную роль в нашей жизни. Это излучение называется *электромагнитным излучением* или *электромагнитными волнами* и будет изучаться в курсе физики 9 класса. Сейчас же надо отметить, что электромагнитные волны являются одним из видов материи, о котором мы ещё не говорили.

Хорошо нам знакомый солнечный свет также является электромагнитным излучением. Существуют различные технические устройства, которые являются источниками электромагнитного излучения, например микроволновые печи.



Излучение — третий вид теплопередачи (кроме теплопроводности и конвекции), при котором энергия передаётся не только при наличии вещества, но и в вакууме. Именно излучение является причиной того, что рядом с горячей электрической лампочкой тепло ощущается даже снизу, хотя из-за конвекции потоки тёплого воздуха устремляются вверх.

ТЕРМОСКОП Рассмотрим работу простого прибора, который называют **термоскопом**. Он состоит из небольшой колбы, одна сторона которой блестящая, а другая — чёрная или матовая. Если прибор делать самостоятельно, то одну сторону колбы можно просто закоптить. В колбу через пробку вставлена изогнутая трубка, в которую введена небольшая капля подкрашенной жидкости. К трубке прикреплена шкала, позволяющая обнаружить любое нагревание воздуха в колбе, даже если оно мало.

Поднесём к закопчённой поверхности термоскопа нагретое до высокой температуры тело. При этом столбик подкрашенной жидкости переместится на несколько делений вправо. Это означает, что воздух в колбе нагрелся

и расширился. Причиной нагревания воздуха в термоскопе может быть только передача ему энергии от нагретого тела.

Энергия в описанном опыте передавалась не в результате теплопроводности, так как между нагретым телом и термоскопом находится воздух — плохой проводник тепла. Конвекция здесь тоже не происходила, так как термоскоп находится рядом с нагретым телом, а не над ним. В данном случае энергия передавалась путём *излучения*.

ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРА ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Все тела окружающего нас мира излучают энергию независимо от их температуры. Но чем выше температура тела, тем больше энергии передаёт оно путём излучения.



Пока температура тела невысока, оно излучает энергию, но не светится, т. е. испускает только тепловые волны, невидимые для глаза. При повышении температуры оно начинает светиться сначала красным, затем оранжевым, жёлтым и т. д. цветом. Например, при температуре 6000 °C больше всего излучается жёлтых лучей. Именно по этому признаку определили температуру поверхности Солнца.

ОТРАЖЕНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

Когда излучение, распространяясь от тела-источника, достигает других тел, часть его *отражается*, а часть *поглощается*.

При поглощении энергия излучения превращается во внутреннюю энергию тел, и они нагреваются.

Светлые и тёмные поверхности тел поглощают излучение по-разному. Этот факт легко проверить с помощью термоскопа.

Повторим описанный выше опыт, но в этот раз поднесём нагретое тело к светлой стороне колбы. Столбик жидкости в этом случае переместится на гораздо меньшее расстояние.

Таким образом, тела со светлой поверхностью хуже нагреваются при теплопередаче путём излучения, чем тела с тёмной поверхностью. Происходит это вследствие того, что тёмные тела лучше поглощают энергию, а тела, имеющие светлую или блестящую поверхность, лучше отражают.

Способность тел по-разному поглощать и отражать энергию излучения часто используется в быту и технике.

Самолёты красят серебристой краской для того, чтобы они меньше нагревались солнечными лучами.

Если используют солнечную энергию для нагревания, то соответствующие части приборов окрашивают в тёмный цвет. Это касается таких приборов, как солнечные батареи и ёмкость для воды в летнем душе.

Излучение тел даже с низкой температурой может быть зарегистрировано специальными приборами, называемыми тепловизорами. Эти приборы также называются приборами ночного видения и широко применяются для навигации, в медицине и в военном деле.



В быту часто используется **термос**. Он применяется для сохранения пищевых продуктов при определённой температуре. Термос состоит из сосуда с двойными стенками, поверхность которых покрыта блестящим металлическим слоем. Из пространства между стенками выкачан воздух, что предотвращает и конвекцию, и теплопроводность. Металлический слой, отражая излучение, препятствует передаче энергии.



ВОПРОСЫ:

- В чём заключается принципиальное отличие излучения от других видов теплопередачи?
- Как зависит излучение от температуры тела?
- Как зависит поглощение энергии излучения от цвета поверхности тела?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как найти изменение внутренней энергии тела.
- Что такое количество теплоты.
- От чего зависит количество теплоты.
- Каковы единицы количества теплоты.

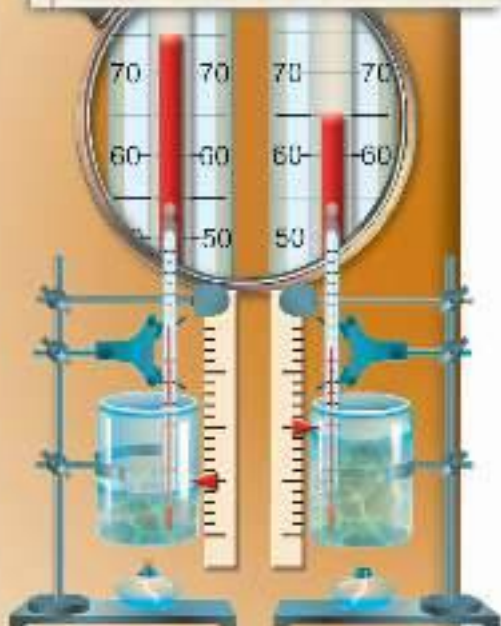
ВСПОМНИТЕ:

- Что такое внутренняя энергия тела?
- Как можно изменить внутреннюю энергию тела?

Если внутренняя энергия тела в процессе теплопередачи увеличивается, то количество теплоты считается положительным ($Q > 0$) и говорят, что телу сообщили количество теплоты Q .

При уменьшении внутренней энергии в процессе теплопередачи количество теплоты считается отрицательным ($Q < 0$) и говорят, что от тела отняли количество теплоты Q .

Конечно, бывают ситуации, когда имеет место одновременно и теплопередача, и совершение работы.



КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

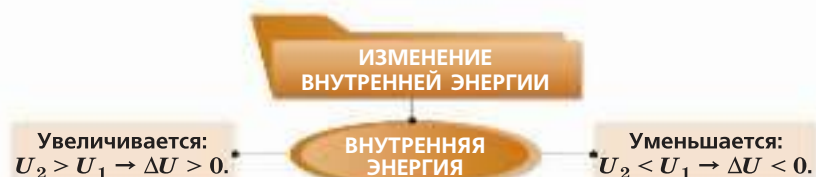
Внутреннюю энергию тела можно изменить путём совершения работы и путём теплопередачи.

ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ В физике принято изменение любой физической величины обозначать греческой буквой Δ (читается «дельта»). Поэтому изменение внутренней энергии тела записывается следующим образом:

$$\Delta U = U_2 - U_1,$$

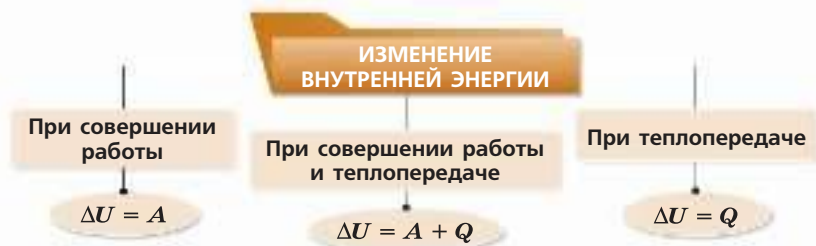
где U_1 — начальная внутренняя энергия тела, а U_2 — конечная внутренняя энергия тела (после изменения).

Изменение внутренней энергии может принимать как положительное, так и отрицательное значение.



Если внутренняя энергия тела изменилась за счёт совершённой работы, то изменение внутренней энергии равно совершённой работе A . Если же изменение произошло за счёт теплопередачи, то для характеристики этого процесса вводится понятие *количество теплоты*.

КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ Энергия, которую получает или теряет тело при теплопередаче, называется **количеством теплоты**. Количество теплоты принято обозначать буквой Q .



ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ Нагреем на двух одинаковых горелках два одинаковых сосуда с водой массой 100 г и 200 г соответственно. Начальная температура воды в обоих сосудах одинакова. Опыт показывает, что по прошествии некоторого промежутка времени температура воды во втором сосуде увеличится на меньшее число градусов, хотя оба сосуда получают одинаковое количество теплоты. Следовательно, *количество теплоты, которое необходимо для нагревания тела до заданной температуры, зависит от массы тела*.

Итак, чем больше масса тела, тем большее количество теплоты надо затратить, чтобы изменить его температуру на одно и то же значение.

При остывании тело передаёт окружающим предметам тем большее количество теплоты, чем больше его масса.

Если мы хотим подогреть воду в сосуде так, чтобы она стала тёплой (например, до температуры $40\text{ }^{\circ}\text{C}$), нам потребуется меньше времени, чем для того, чтобы эту воду вскипятить (т. е. довести до температуры $100\text{ }^{\circ}\text{C}$). В первом случае воде будет передано меньшее количество теплоты, чем во втором.

Таким образом, количество теплоты, которое необходимо для нагревания, зависит от разности температур тела до и после нагревания.

Теперь в одну пробирку нальём воды, а в другую — подсолнечное масло той же массы и температуры, что и вода. Обе пробирки поместим в сосуд с горячей водой. Наблюдая за показаниями термометров, мы увидим, что масло нагревается быстрее. Чтобы нагреть воду и подсолнечное масло до одной и той же температуры, воду следует нагревать дольше. Но чем дольше мы нагреваем воду, тем большее количество теплоты она получает от нагревателя (горячей воды в сосуде).

Следовательно, количество теплоты, которое необходимо для нагревания тела до определённой температуры, зависит от того, из какого вещества тело состоит.

ЕДИНИЦЫ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ Единицами количества теплоты являются те же единицы, что и для других видов энергии, — джоули (Дж) или килоджоули (кДж).

Существует и другая единица количества теплоты — калория (кал) или килокалория (ккал).

Калория (от лат. *calor* — тепло, жар) — это количество теплоты, которое необходимо для нагревания 1 г воды на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Соотношение между джоулем и калорией следующее:

$$1\text{ кал} \approx 4,19\text{ Дж.}$$

Это означает, что за счёт работы, равной $4,19\text{ кДж}$, температура 1 кг воды повысится на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Калории обычно используют для определения энергетической ценности продуктов питания. При этом часто вместо слова «килокалория» пишут просто «Калория» с большой буквы. Количество калорий в пище определяется количеством энергии, которое получает из неё организм. Затем эта энергия будет использована для поддержания всех процессов жизнедеятельности: хорошего обмена веществ, сердцебиения, роста волос, лечения ран и т. д. Калории мы получаем из таких компонентов пищи, как белки, углеводы и жиры.

Количество теплоты, необходимое для нагревания тела (или выделяемое при остывании), зависит от массы этого тела, изменения его температуры и рода вещества.



Джеймс Прескотт Джоуль
(1818—1889)

Английский физик, член Лондонского королевского общества.

ВОПРОСЫ:

- Что такое количество теплоты и от чего оно зависит?
- Какие единицы количества теплоты вы знаете?
- Зависит ли количество теплоты, сообщённое телу, от способа теплопередачи?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое удельная теплоёмкость.
- Как вычислить количество теплоты, необходимое для нагревания тела или выделяемое им при охлаждении.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое количество теплоты?
- Каковы единицы количества теплоты?
- От чего зависит количество теплоты?

**УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ
РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ**

Олово	230 Дж/(кг · °С)
Серебро	250 Дж/(кг · °С)
Дерево	2400 Дж/(кг · °С)
Вода	4200 Дж/(кг · °С)

Большая удельная теплоёмкость воды является причиной того, что в местах, расположенных вблизи больших водоёмов, летом бывает менее жарко, чем в местах с таким же климатом, но без водоёма. При условии, что летом водоём получает достаточно тепла, зима вблизи водоёма бывает менее холодная.



Если обозначить величины: удельная теплоёмкость — c , масса тела — m , начальная температура тела — t_1 , конечная температура тела — t_2 , то количество теплоты, необходимое для нагревания тела (или выделяемое при остывании), рассчитывается по формуле

$$Q = cm(t_2 - t_1).$$

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ. РАСЧЁТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ

Как показывает опыт, чтобы изменить на одну и ту же величину температуру тел одинаковой массы, но состоящих из разного вещества, требуется разное количество теплоты. Например, чтобы увеличить на 1 °С температуру воды массой 1 кг, требуется количество теплоты, равное 4200 Дж, а для нагревания такой же массы подсолнечного масла требуется 1700 Дж.

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ Какое количество теплоты потребуется для нагревания на 1 °С воды большей массы, например 2 кг? Для этого необходимо количество теплоты, равное 8400 Дж. Соответственно для нагревания на 1 °С 2 кг подсолнечного масла также потребуется вдвое большее количество теплоты — 3400 Дж.

Этот вывод справедлив не только для жидкостей. Например, для нагревания 1 кг железа на 1 °С необходимо затратить количество теплоты, равное 460 Дж, а для нагревания 2 кг железа — вдвое большее, т. е. 920 Дж.

Таким образом, количество теплоты, необходимое для нагревания тела до определённой температуры, пропорционально массе этого тела.

Вместе с тем количество теплоты, сообщаемое телу при его нагревании, зависит от того, на сколько градусов мы увеличиваем температуру тела.

Например, если 2 кг воды надо нагреть не на 1 °С, а на 10 °С, то, как показывает опыт, для этого потребуется количество теплоты, в 10 раз большее, т. е. 84 000 Дж. Следовательно, количество теплоты пропорционально также разности между конечной и начальной температурами тела:

$$\Delta t = t_2 - t_1.$$

С учётом сказанного выражение для количества теплоты, необходимого для нагревания тела массой m на Δt , следует записать в виде

$$Q = cm\Delta t, \quad (1)$$

где c — некоторая величина, характеризующая тепловые свойства тела.

Выясним физический смысл величины c . Если массу тела принять равной единице и изменение температуры тела также равно единице, то по формуле (1) величина c численно равна количеству теплоты:

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}. \quad (2)$$

Эту величину называют **удельной теплоёмкостью вещества**. Единица удельной теплоёмкости в СИ — *джоуль на килограмм · градус Цельсия* (Дж/(кг · °С)).

Например, удельная теплоёмкость серебра равна 250 Дж/(кг · °С). Это означает, что для нагревания серебра массой 1 кг на 1 °С необходимо количество теплоты, равное 250 Дж. Точно такое же (по модулю) количество теплоты будет выделено этой массой серебра при его охлаждении на 1 °С.

Опыты показывают, что удельная теплоёмкость одного и того же вещества может считаться постоянной в широком интервале температур.

Однако *удельная теплоёмкость вещества, находящегося в различных агрегатных состояниях, разная*.

Например, удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · °С), а удельная теплоёмкость льда 2100 Дж/(кг · °С).

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ В алюминиевой кастрюле, имеющей массу 400 г, находится 2 л воды при температуре 20 °С. Какое количество теплоты необходимо для нагревания воды в кастрюле до 100 °С?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$m_1 = 400 \text{ г}$$

$$c_1 = 920 \text{ Дж/(кг · °С)}$$

$$V = 2 \text{ л}$$

$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$c_2 = 4200 \text{ Дж/(кг · °С)}$$

$$t_1 = 20 \text{ °С}$$

$$t_2 = 100 \text{ °С}$$

$Q = ?$

СИ

$$0,4 \text{ кг}$$

$$0,002 \text{ м}^3$$

Решение:

Количество теплоты, необходимое для нагревания алюминиевой кастрюли:

$$Q_1 = c_1 m_1 (t_2 - t_1),$$

$$Q_1 = 920 \text{ Дж/(кг · °С)} \cdot 0,4 \text{ кг} (100 \text{ °С} - 20 \text{ °С}) = 29\,440 \text{ Дж}.$$

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды:

$$Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - t_1).$$

Масса воды в кастрюле:

$$m_2 = \rho V,$$

$$m_2 = 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,002 \text{ м}^3 = 2 \text{ кг}.$$

$$Q_2 = 4200 \text{ Дж/(кг · °С)} \cdot 2 \text{ кг} \cdot (100 \text{ °С} - 20 \text{ °С}) = 672\,000 \text{ Дж}.$$

На нагревание кастрюли и воды израсходовано количество теплоты

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

$$Q = 29\,440 \text{ Дж} + 672\,000 \text{ Дж} = 701\,440 \text{ Дж} = 701,44 \text{ кДж}.$$

Ответ: $Q = 701,44 \text{ кДж}$.



ВОПРОСЫ:

- Что называется удельной теплоёмкостью вещества?
- Что является единицей удельной теплоёмкости вещества?
- Зависит ли удельная теплоёмкость от агрегатного состояния вещества?

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Хаотичное движение частиц, из которых состоит тела, называют тепловым движением.
- Температура является мерой средней кинетической энергии молекул тела.
- Энергию движения и взаимодействия частиц, из которых состоит тело, называют внутренней энергией тела.
- При переходе механической энергии во внутреннюю полная энергия сохраняется.
- Внутреннюю энергию тела можно изменить путём совершения работы и путём теплопередачи.
- Процесс передачи энергии от более нагретого тела или участков тела к менее нагретым называется теплопередачей или теплообменом.
- Существует три вида теплопередачи: теплопроводность, конвекция и излучение.
- Энергия, которую получает или теряет тело при теплопередаче, называется количеством теплоты.



«ПОДРОБНЕЕ...»

Липсон Г. Великие эксперименты в физике. — М.: Мир, 1978.

Сморodinский Я. А. Температура. Библиотечка «Квант». Вып. 12. — М.: Наука, 1981.

Суорц К. Э. Необыкновенная физика обыкновенных явлений. Т. 1. — М.: Наука, 1986.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Почему метеориты, прочертив яркий огненный след, сгорают в атмосфере Земли?
- Как можно объяснить принцип работы центрального водяного отопления?
- Каким образом осуществляется поддержание тепла в ледяных хижинах эскимосов?

Физический
энциклопедический словарь
<http://www.all-fizika.com>

Мир молекул
<http://www.worldofmolecules.com>



ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

- АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА
- ПЛАВЛЕНИЕ И ОТВЕРДЕВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ
- УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ. ПЛАВЛЕНИЕ АМОРФНЫХ ТЕЛ
- ИСПАРИЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ. НАСЫЩЕННЫЙ ПАР
- КИПЕНИЕ
- УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ
- ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

В окно увидела Татьяна
Поутру побелевший двор,
Куртины, кровли и забор,
На стёклах лёгкие узоры,
Деревья в зимнем серебре...

А. С. Пушкин
«Евгений Онегин»

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Чем отличается характер движения и взаимодействия молекул вещества в различных агрегатных состояниях.
- Как происходит переход вещества из одного агрегатного состояния в другое.

ВСПОМНИТЕ:

- Какие агрегатные состояния вещества существуют?

Переход вещества из одного агрегатного состояния в другое используется для решения огромного числа практических задач. Например, в крупных городах используют снегоплавильные машины, для того чтобы грязный снег с улицы отправлять в канализацию и не загрязнять окружающую среду. На тепловых и атомных электростанциях в паровых турбинах применяют водяной пар. Сжиженный газ (фреон) используют в холодильных установках.

АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

Все вещества в зависимости от условий могут находиться в трёх агрегатных состояниях: твёрдом, жидком и газообразном. Различные агрегатные состояния существуют у каждого вещества. Наглядным примером этому служат лёд, вода и водяной пар.

ЧЕМ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ АГРЕГАТНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА

Вы уже знаете, что молекулы одного и того же вещества в твёрдом, жидком и газообразном состоянии ничем не отличаются друг от друга. То или иное агрегатное состояние определяется взаимным расположением составляющих вещество молекул, а также характером их движения и взаимодействия.

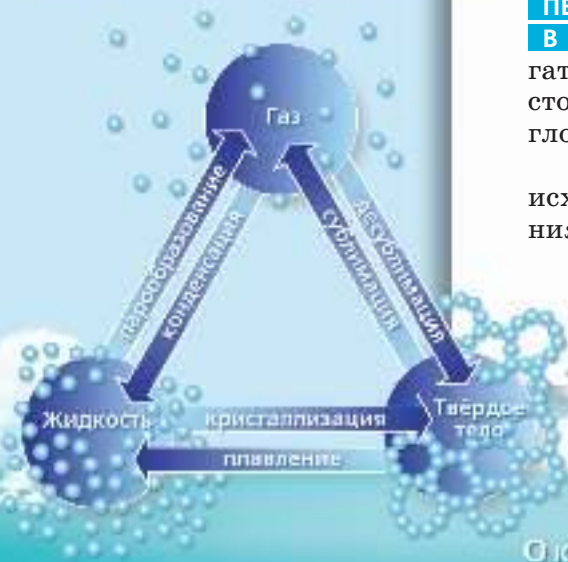
В газах при атмосферном давлении расстояния между молекулами намного больше размера самих молекул. Именно поэтому притяжение между молекулами газа мало. При обычных температурах средняя кинетическая энергия молекул газа вполне достаточна для совершения работы по преодолению сил их взаимного притяжения, поэтому молекулы газа разлетаются, если газ не сдерживают стенки сосуда.

Плотности жидкостей и твёрдых тел во много раз больше плотности газа, а их молекулы расположены гораздо ближе друг к другу. В этом случае сила взаимного притяжения молекул намного больше и средней кинетической энергии молекул уже недостаточно для того, чтобы совершить работу по преодолению сил межмолекулярного притяжения. Это является причиной того, что молекулы в жидкостях и особенно в твёрдых телах не могут значительно удаляться друг от друга.

ПЕРЕХОД ВЕЩЕСТВА ИЗ ОДНОГО АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ В ДРУГОЕ

Вещества могут переходить из одного агрегатного состояния в другое. Изменение агрегатного состояния вещества всегда связано с выделением или поглощением некоторого количества теплоты.

Всего различают шесть процессов, при которых происходит переход вещества из одного агрегатного состояния в другое.



ПЛАВЛЕНИЕ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ Переход вещества из твёрдого состояния в жидкое называется **плавлением**. В твёрдых телах, в отличие от жидкостей, частицы расположены упорядоченно. Поэтому, для того чтобы перевести частицы из упорядоченного состояния в неупорядоченное, нужно совершить работу по преодолению сил молекулярного притяжения. Внутренняя энергия вещества при этом увеличивается за счёт увеличения энергии взаимодействия молекул. Примерами плавления могут служить таяние льда, плавление металлов в металлургии и пр.

Обратный процесс, связанный с переходом вещества из жидкого состояния в твёрдое, называется **кристаллизацией** или **отвердеванием**. Пример кристаллизации — замерзание воды. Процесс кристаллизации сопровождается уменьшением внутренней энергии вещества за счёт уменьшения энергии взаимодействия молекул.

ПАРООБРАЗОВАНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ Переход вещества из жидкого состояния в газообразное называется **парообразованием**. Пример парообразования — испарение воды.

Обратный процесс, связанный с переходом вещества из газообразного состояния в жидкое, называется **конденсацией** (от лат. *condense* — уплотнение, сгущение). Пример конденсации — образование росы.

СУБЛИМАЦИЯ (ВОЗГОНКА) И ДЕСУБЛИМАЦИЯ Переход вещества из твёрдого состояния в газообразное (минуя жидкое) называется **сублимацией** (от лат. *sublimo* — возношу) или **возгонкой**. Возгонкой объясняются также запахи, которыми обладают многие твёрдые тела. Вылетая из твёрдого тела, молекулы образуют над ним газ (или пар), который и вызывает запах. Например, разные сорта древесины имеют различный запах.

Переход вещества из газообразного состояния в твёрдое (минуя жидкое) называется **десублимацией**. Пример десублимации — образование на окнах зимой инея, узор из кристалликов льда. Данный процесс десублимации может осуществляться только на внутренней поверхности оконного стекла, где молекулы паров воды превращаются в кристаллики льда.

МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучите изменение температуры раствора в процессе растворения поваренной соли в воде. Зафиксируйте максимальное изменение температуры и объясните наблюдаемое явление.

«ПОМОЩНИК»

- Налейте в мензурку 30–40 мл воды и насыпьте в воду 8–10 г поваренной соли.
- Поместите в воду термометр.
- Для ускорения процесса растворения соли можно осторожно помешивать воду стеклянной палочкой.

Учёные считают, что в течение огромного промежутка времени общее количество воды на нашей планете практически постоянно. Однако в разные моменты времени вода находится в различных местах и в различных агрегатных состояниях. Процесс циклического перемещения воды во всех оболочках Земли называется круговоротом воды в природе.

Кристаллизация

Плавление

ВОПРОСЫ:

- В каких агрегатных состояниях может находиться одно и то же вещество?
- Чем определяется то или иное агрегатное состояние вещества?
- Какие процессы, связанные с переходом вещества из одного агрегатного состояния в другое, вы знаете?



ВЫ УЗНАЕТЕ:

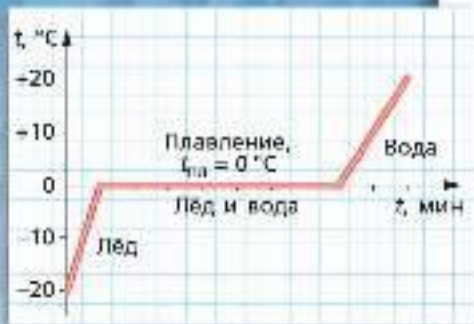
- Чем объясняются процессы плавления и отвердевания кристаллических тел.
- Что такое температура плавления и кристаллизации.
- Как выглядит график плавления и отвердевания кристаллических тел.

ВСПОМНИТЕ:

- Какие агрегатные состояния вещества существуют?
- Каково молекулярное строение твёрдых тел и жидкостей?
- Что происходит с телом при увеличении средней кинетической энергии его молекул?

**ТЕМПЕРАТУРЫ ОТВЕРДЕВАНИЯ
РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ**

Азот	-210°C
Ртуть	-39°C
Железо	1539°C
Платина	1772°C



ПЛАВЛЕНИЕ И ОТВЕРДЕВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ

Как известно, многие твёрдые тела имеют кристаллическое строение. Рассмотрим подробнее процесс превращения вещества из твёрдого состояния в жидкое — плавление, а также обратный процесс — отвердевание. Очевидно, для осуществления процесса плавления необходимо сообщить телу некоторое количество теплоты.

ПЛАВЛЕНИЕ ЛЬДА Рассмотрим следующий опыт. В пробирке нагреем лёд, взятый при температуре -20°C . Несмотря на то что мы непрерывно нагреваем содержимое пробирки, в течение некоторого времени лёд остаётся в твёрдом состоянии. При этом его температура повышается. Но как только температура льда окажется равной 0°C , её повышение прекращается, хотя спиртовка продолжает гореть. В пробирке появляется вода. Воды становится всё больше, а льда — всё меньше. Как только исчезнут последние кристаллики льда, температура воды начнёт повышаться.



ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ Для любого вещества существует температура, выше которой это вещество не может находиться в твёрдом состоянии, оно плавится. Температура, при которой вещество плавится, называется **температурой плавления**.

Следовательно, чтобы расплавить кристаллическое тело, необходимо нагреть его до температуры плавления и в дальнейшем сообщать ему энергию до тех пор, пока всё оно постепенно не превратится в жидкость.

Рассмотрим график зависимости температуры от времени в опыте, описанном выше. Сначала в течение некоторого времени температура льда повышается от -20 до 0°C . После этого лёд начинает плавиться, и температура смеси «вода + лёд» остаётся постоянной до тех пор, пока процесс плавления не завершится. После этого температура воды вновь начинает повышаться.

АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНАЯ ПРИРОДА ПЛАВЛЕНИЯ

Что же происходит с молекулами (атомами) вещества при плавлении? В кристаллических телах молекулы расположены в строгом порядке и колеблются около своих положений равновесия. При этом температура тела зависит от скорости движения его молекул. Подводимое тепло приводит к увеличению средней скорости движения молекул, следовательно, растёт их средняя кинетическая энергия и температура тела. Поэтому отклонение молекул от положения равновесия увеличивается, но кристаллическая структура вещества ещё сохраняется. Когда вещество нагреется до температуры плавления, его температура перестаёт расти. Внутренняя энергия теперь увеличивается не за счёт кинетической энергии, а за счёт увеличения потенциальной энергии взаимодействия молекул. Таким образом, теперь вся получаемая энергия расходуется на разрушение кристаллической решётки. Вещество плавится и переходит из твёрдого состояния в жидкое. Далее нагревается уже жидкость. При этом увеличивается кинетическая энергия молекул, значит, температура жидкости возрастает.

ОТВЕРДЕВАНИЕ. ТЕМПЕРАТУРА ОТВЕРДЕВАНИЯ

Переход вещества из жидкого состояния в твёрдое — **отвердевание** — происходит в обратном порядке. Вынесем пробирку с водой на мороз. Сначала температура воды понижается. При этом скорость движения молекул уменьшается и их средняя кинетическая энергия понижается. При $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ понижение температуры прекращается, хотя внутренняя энергия воды продолжает уменьшаться. Выделяемое количество теплоты идёт на нагревание окружающей среды. Силы взаимодействия теперь удерживают медленно движущиеся молекулы, в результате чего формируется кристаллическая решётка. Данный процесс идёт без изменения температуры вещества. После этого температура получившегося льда начинает уменьшаться до тех пор, пока не сравняется с температурой окружающей среды.

Существует температура, ниже которой вещество в жидком состоянии находиться не может, оно отвердевает. Температура, при которой вещество отвердевает, называется **температурой отвердевания**.

Опыты показывают, что для кристаллических тел *отвердевание вещества всегда происходит при той же температуре, при которой вещество плавится:*

$$t_{\text{пл}} = t_{\text{отв.}}$$



Как образуются ледяные сосульки? В какую погоду образовались сосульки: в оттепель или в мороз?

Для образования сосулек необходимо, чтобы одновременно происходило два процесса: таяние льда и замерзание воды.

А можно ли расплавить лёд при температуре ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Заполним водой небольшую коробочку. Вертикально воткнём в коробочку иголки так, чтобы ушками они касались дна. Заморозим воду в коробочке так, чтобы иголки вмёрзли вертикально в лёд. Теперь на иголки положим кусок льда, а сверху поставим груз и поместим коробочку на мороз. Что мы увидим спустя некоторое время? Лёд опустился до коробочки, т. е. под давлением лёд плавится даже при отрицательной температуре и иголки проходят насквозь!



ВОПРОСЫ:

- Какой процесс называют плавлением?
- На что расходуется энергия, поглощаемая веществом при плавлении?
- За счёт чего выделяется тепло при отвердевании вещества, если температура тела не понижается?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

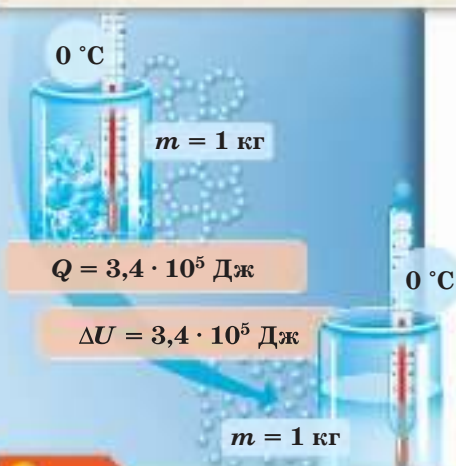
- Что такое удельная теплота плавления вещества.
- Как вычислить количество теплоты, необходимое для плавления тела и выделяемое при его отвердевании.
- Что такое аморфные тела.
- Как происходит плавление и отвердевание аморфных тел.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое плавление и кристаллизация?
- Что такое температура плавления и кристаллизации?
- Как выглядит график плавления и отвердевания кристаллических тел?
- Что такое количество теплоты?

Если обозначить величины: количество теплоты — Q , масса — m и удельная теплота плавления — λ , то количество теплоты, необходимое для плавления кристаллического тела при температуре плавления, рассчитывается по формуле

$$Q = \lambda m.$$



Количество теплоты, выделяющееся при кристаллизации тела массой m , также определяется по формуле

$$Q = \lambda m.$$

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ. ПЛАВЛЕНИЕ АМОРФНЫХ ТЕЛ

Различные кристаллические вещества имеют разное атомно-молекулярное строение, разные кристаллические решётки. Поэтому различается и их температура плавления.

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ Для того чтобы разрушить кристаллическую решётку различных веществ, необходимо затратить разную энергию и, следовательно, сообщить веществу разное количество теплоты.

Физическая величина, показывающая, какое количество теплоты необходимо передать кристаллическому телу массой 1 кг, чтобы при температуре плавления полностью перевести его в жидкое состояние, называется **удельной теплотой плавления**.

Удельная теплота плавления обозначается греческой буквой λ (читается «лямбда»). Её единица — *джоуль на килограмм* (1 Дж/кг).

Различные вещества имеют разную удельную теплоту плавления. Значения удельной теплоты плавления получены опытным путём.

Так, было установлено, что удельная теплота плавления льда равна $3,4 \cdot 10^5$ Дж/кг. Это означает, что для плавления льда массой 1 кг, взятого при 0 °C, и превращения его в воду такой же температуры требуется затратить $3,4 \cdot 10^5$ Дж энергии. При этом внутренняя энергия получившейся воды увеличится на $3,4 \cdot 10^5$ Дж.

Удельная теплота плавления показывает, на сколько изменяется внутренняя энергия вещества массой 1 кг, взятого при температуре плавления, при его плавлении или отвердевании. Таким образом, *при температуре плавления внутренняя энергия вещества в жидком состоянии больше внутренней энергии такой же массы вещества в твёрдом состоянии*.

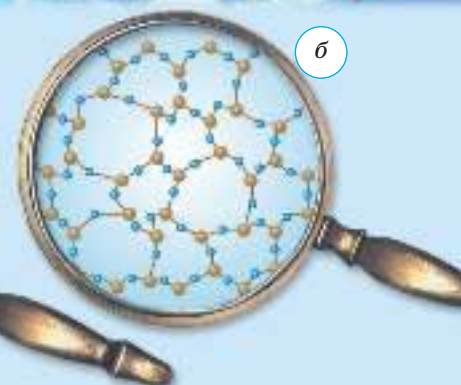
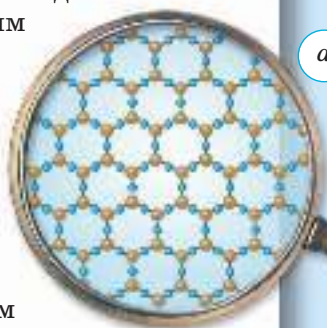
КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ПЛАВЛЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕЛА ПРОИЗВОЛЬНОЙ МАССЫ

Количество теплоты Q , необходимое для плавления кристаллического тела массой m , взятого при температуре плавления и нормальном атмосферном давлении, зависит как от удельной теплоты плавления λ , так и от массы вещества:

$$Q = \lambda m.$$

Опыты показывают, что количество теплоты, выделяющееся при отвердевании и образовании кристаллических тел, равно количеству теплоты, которое необходимо для их плавления. При этом выделенная энергия передаётся окружающим телам.

АМОРФНЫЕ ТЕЛА (от греч. *a* — отрицательная частица и *morphe* — форма). Существует особый вид твёрдых тел, которые по своим физическим свойствам и молекулярной структуре отличаются от кристаллических тел. Это *аморфные тела*. В аморфных телах атомы или молекулы расположены уже не строго упорядоченно, как в кристаллических телах. Различие в строении кристаллических и аморфных тел приводит к тому, что их механические и тепловые свойства различаются. К аморфным телам относятся резина, воск, пластилин, стекло, различные пластмассы.



Расположение частиц в кристаллическом (а) и аморфном (б) кварце



Фрай Стивен в «Книге всеобщих заблуждений» пишет: «...В течение долгого времени было широко распространено мнение о том, что стекло, будучи аморфным веществом, способно в твёрдом состоянии течь, как жидкость, хотя и очень медленно. В подтверждение этого приводился факт, что нижняя часть старинных стеклянных витражей толще верхней. Оказывается, причина утолщения нижней части стекла состоит в том, что средневековые стекольщики просто не умели отлить идеальные стеклянные листы, а при установке располагали их толстым краем к полу для большей устойчивости. Путаница же возникла от неверного прочтения работы немецкого физика Густава Таммана, изучавшего свойства стекла. На самом деле стекло — это аморфное твёрдое тело».



ПЛАВЛЕНИЕ АМОРФНЫХ ТЕЛ

Поскольку молекулярное строение аморфных тел отличается от строения кристаллических тел, то их плавление происходит иначе, чем плавление кристаллических тел.

В строении аморфных тел отсутствует кристаллическая структура, поэтому для их плавления не требуется дополнительная энергия для разрыва межмолекулярных связей, как в случае плавления кристаллических тел. Температура аморфных тел при этом изменяется непрерывно. Следовательно, аморфные тела не обладают определённой температурой плавления.

При нагревании аморфные тела постепенно размягчаются, превращаясь в жидкость.

При обратном процессе — отвердевании аморфных тел — температура также изменяется непрерывно, но при этом уменьшается.



ВОПРОСЫ:

- За счёт чего внутренняя энергия расплава, взятого при температуре плавления, больше внутренней энергии того же вещества в твёрдом состоянии?
- Как вычислить количество теплоты, необходимое для плавления кристаллического тела, взятого при температуре плавления?
- Чем отличается плавление кристаллического тела от плавления аморфного тела?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Какие виды парообразования существуют.
- Что такое испарение.
- От каких факторов зависит скорость испарения.
- Что такое динамическое равновесие.
- Что такое насыщенный и ненасыщенный пар.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое парообразование?
- Что такое конденсация?



В жару лужи высыхают быстрее, потому что средняя кинетическая энергия молекул больше и большее их число покидает жидкость. Расправленное мокрое полотенце высыхает быстрее, чем скомканное, из-за разницы в площади поверхности. А в ветреную погоду мокрые вещи высыхают быстрее из-за того, что ветер относит водяные пары в сторону.

Из-за охлаждения жидкости при испарении человек в мокрой одежде мерзнет, а в сухой нет. По этой же причине, выходя из воды, мы чувствуем прохладу даже в самый жаркий день.

ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ. НАСЫЩЕННЫЙ ПАР

Нам всем хорошо известно, что роса, появившаяся утром на траве, к полудню исчезает, лужи после дождя высыхают, уровень воды в реках и озёрах летом уменьшается. Жидкость в открытом сосуде со временем постепенно убывает. Однако молекулы жидкости не могут исчезнуть бесследно, просто жидкость превращается в пар.

ВИДЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ Существует два способа перехода вещества из жидкого состояния в газообразное: испарение и кипение.

ИСПАРЕНИЕ Парообразование, происходящее с поверхности жидкости, называется **испарением**.

Почему жидкость испаряется? Известно, что молекулы жидкости находятся в состоянии непрерывного и хаотического движения. При этом молекулы имеют различные скорости движения и, следовательно, разные кинетические энергии. Когда у поверхности жидкости оказывается молекула с относительно большой скоростью, она может преодолеть силы притяжения соседних молекул и вылететь из жидкости. Молекулы, покинувшие поверхность жидкости, образуют над ней пар. Это и есть процесс *испарения жидкости*. ➡

СКОРОСТЬ ИСПАРЕНИЯ Из повседневной жизни известно, что лужи после дождя высыхают и в прохладную погоду, и в жару. Однако в одном случае испарение происходит медленнее, в другом — быстрее. Почему? В жидкости всегда имеются молекулы, кинетическая энергия которых больше кинетической энергии других молекул, поэтому испарение происходит при любой температуре. Однако есть несколько факторов, влияющих на скорость испарения. Это температура, площадь поверхности жидкости, движение воздуха (ветер) и род жидкости. Чем выше температура жидкости, тем больше средняя скорость движения молекул и тем больше молекул, у которых кинетическая энергия достаточна для того, чтобы преодолеть притяжение соседних молекул и вылететь с поверхности жидкости. Так как жидкость могут покинуть только те молекулы, которые находятся у самой поверхности, то, чем больше площадь испаряемой поверхности, тем большее число молекул покидают жидкость.

Молекула, вылетевшая из жидкости, двигаясь хаотично над поверхностью жидкости, может изменить направление своего движения и вернуться обратно. Если дует ветер, который уносит эти молекулы, то испарение жидкости происходит быстрее.

Если листок бумаги смочить эфиром, водой и маслом, то мы заметим, что эфир испарился значительно быстрее, чем вода, а вода — быстрее, чем масло. Это связано с тем, что между молекулами эфира силы взаимодействия меньше, чем между молекулами воды или масла. Поэтому большее число молекул эфира способно преодолеть силы притяжения и покинуть поверхность жидкости.

Следовательно, чем меньше силы взаимодействия между молекулами жидкости, тем быстрее происходит процесс испарения.

ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ИСПАРЕНИИ

Поскольку при испарении жидкость покидают молекулы, обладающие повышенной кинетической энергией, то средняя кинетическая энергия оставшихся молекул уменьшается. Следовательно, внутренняя энергия испаряющейся жидкости также уменьшается, что приводит к понижению её температуры.

Проведём следующий опыт. Конец термометра обмотаем ватой, смоченной эфиром (или водой). При этом показания термометра начнут уменьшаться, что свидетельствует о понижении температуры испаряющейся жидкости.

КОНДЕНСАЦИЯ Одновременно с испарением происходит и обратный процесс — переход части молекул пара в жидкость. Явление превращения пара в жидкость называется **конденсацией**. *Конденсация пара сопровождается выделением энергии.*

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ И НАСЫЩЕННЫЙ ПАР

Когда сосуд открыт, процесс испарения происходит быстрее, чем обратный процесс конденсации. При этом масса жидкости в сосуде уменьшается. Если же испарение происходит в закрытом сосуде, то после того, как закрыли сосуд, число молекул, покидающих поверхность жидкости в единицу времени, будет больше числа молекул, возвращающихся обратно. При этом плотность паров жидкости в сосуде будет увеличиваться.

С увеличением числа молекул пара над поверхностью жидкости возрастает также число молекул, возвращающихся обратно в жидкость. Через некоторое время количество вылетающих из жидкости и возвращающихся молекул сравняется. Наступает *динамическое равновесие* между жидкостью и паром, когда число молекул пара над жидкостью становится постоянным. При динамическом равновесии масса жидкости в закрытом сосуде не изменяется, хотя процесс испарения продолжается.

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется **насыщенным**.

Пар, не находящийся в состоянии равновесия со своей жидкостью, называется **ненасыщенным**. В этом случае возможно дальнейшее испарение жидкости.



Прохладным летним утром мы можем видеть росу. Ночью, когда воздух становится холоднее, водяной пар, находящийся в воздухе, конденсируется и маленькие капельки воды оседают на траве и листьях. Выпадает роса. Облака образуются также в процессе конденсации. Они состоят из маленьких капелек воды, в которые превратились водяные пары, поднявшиеся над землёй и попавшие в верхние, более холодные слои атмосферы.



ВОПРОСЫ:

- Какие факторы влияют на скорость испарения?
- Когда наступает динамическое равновесие между паром и жидкостью?
- Какой пар называют насыщенным?

КИПЕНИЕ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

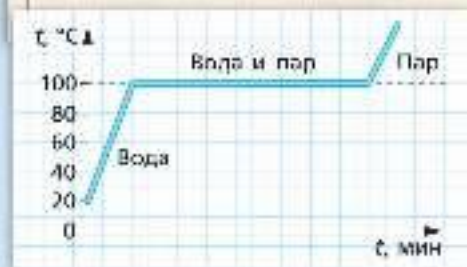
- Что такое кипение.
- Что такое температура кипения.
- От чего зависит температура кипения.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое парообразование?
- Какие существуют способы парообразования?
- Как происходит испарение?



Если построить график зависимости температуры от времени в описываемом опыте, он будет выглядеть следующим образом:



Существует два способа парообразования: испарение и кипение. Процесс испарения был рассмотрен в предыдущем параграфе. Теперь остановимся на процессе кипения.

КИПЕНИЕ ВОДЫ Рассмотрим, как изменяется температура воды в процессе её нагревания в открытом прозрачном сосуде, и проследим за изменением состояния воды в сосуде.

На начальном этапе по мере увеличения температуры усиливается испарение воды. Иногда можно увидеть лёгкий туман над поверхностью воды. Этот туман состоит из мельчайших капелек воды, образовавшихся в воздухе над сосудом благодаря конденсации.

При дальнейшем нагревании мы заметим, что на дне и стенках сосуда появляются маленькие пузырьки. Это пузырьки воздуха, который всегда растворён в воде. При нагревании излишек воздуха выделяется из воды в виде пузырьков.

По мере нагревания вода начинает испаряться не только с поверхности жидкости, но и внутри пузырьков, образуя насыщенный пар. Давление внутри пузырьков воздуха возрастает, и пузырьки увеличиваются в объёме.

С увеличением размеров пузырьков возрастает и архимедова сила, выталкивающая их из воды. Пузырьки отрываются от дна и стенок сосуда и поднимаются вверх.

Пока вся вода не прогрелась, в верхних, более холодных её слоях часть водяного пара внутри пузырьков конденсируется и превращается в воду. При этом давление внутри пузырьков уменьшается, что приводит к их сжатию вплоть до полного исчезновения.

Процессы быстрого роста и схлопывания всё новых пузырьков сопровождаются характерным шумом, обычно предшествующим кипению.

Когда же вода прогревается во всём сосуде, те пузырьки, которые поднимаются к поверхности жидкости, уже не сжимаются, а, наоборот, продолжают расширяться. Достигнув поверхности жидкости, пузырьки лопаются, и пар выходит наружу. Возникает характерное бульканье — *вода кипит*.

Кипение — это интенсивное парообразование, происходящее по всему объёму жидкости при определённой температуре.

ТЕМПЕРАТУРА КИПЕНИЯ В отличие от испарения, которое происходит при любой температуре, кипение жидкости происходит при определённой температуре.

Температура, при которой жидкость кипит, называют **температурой кипения**.

Во время кипения температура жидкости не меняется.

ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ТЕМПЕРАТУРА КИПЕНИЯ Температура кипения зависит от атмосферного давления. Очевидно, что, для того чтобы в процессе кипения пузырьки не исчезали, давление внутри их должно быть равно атмосферному давлению. Но давление насыщенного пара существенно зависит от температуры. Поэтому при повышении атмосферного давления температура кипения увеличивается, а при понижении — уменьшается. При подъёме в горы атмосферное давление уменьшается, поэтому понижается температура кипения воды (приблизительно на 1°C на каждые 300 м высоты). Так, на высоте 7000 м давление составляет примерно 400 гПа и температура кипения воды понижается до 70°C .



ОПЫТ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЙ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ КИПЕНИЯ ВОДЫ ОТ ДАВЛЕНИЯ Установим на штативе закрытую колбу с водой. При помощи горелки доведём воду в колбе до кипения. При выключении горелки кипение воды в колбе прекращается.

Теперь при выключенной горелке перевернём колбу и положим сверху кусок льда. Вода в колбе снова закипает.

Что же произошло? Почему вода закипела?

Когда мы перевернули колбу и положили сверху лёд, мы тем самым понизили температуру воздуха внутри колбы. Как известно, при понижении температуры молекулы газа движутся медленнее, тем самым оказывая меньшее давление на стенки сосуда, а с понижением давления температура кипения понижается. Если при нормальных условиях вода кипела при 100°C , то при понижении давления нам достаточно нагреть воду до более низкой температуры.

В нашем случае вода после выключения горелки перестала кипеть, так как успела немного остыть, но этой температуры было достаточно, чтобы вода вновь закипела при пониженном давлении.

ТЕМПЕРАТУРЫ КИПЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ

Водород	-253°C
Эфир	35°C
Железо	2750°C

Известно, что выдающийся российский путешественник и натуралист Н. М. Пржевальский, открывший несколько хребтов в горах Центральной Азии, вычислял высоту горы по специальным таблицам, определив температуру кипения воды.



Проведение данного опыта требует соблюдения дополнительных мер предосторожности.

ВОПРОСЫ:

- Почему для приготовления пищи используют скороварки, в которых процесс кипения происходит при повышенном давлении?
- Можно ли добиться кипения воды, не прибегая к её нагреванию?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое удельная теплота парообразования.
- Как вычислить количество теплоты, необходимое для парообразования или выделяющееся при конденсации.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое парообразование?
- Что такое кипение?
- Что такое температура кипения?



Если обозначить величины: количество теплоты — Q , масса — m и удельная теплота парообразования — L , то количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар при температуре кипения, рассчитывается по формуле

$$Q = Lm.$$

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ

Если после закипания воды выключить нагреватель, то кипение сразу же прекратится. Чтобы вода не переставала кипеть, её температура не должна уменьшаться, т. е. вода должна получать достаточное количество теплоты.

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ Для перехода разных веществ из жидкого состояния в газообразное требуется разное количество теплоты.

Так, опытным путём было установлено, что для превращения в пар 1 кг воды при температуре 100°C требуется $2,3 \cdot 10^6$ Дж энергии.

Чтобы превратить в пар спирт массой 1 кг при температуре кипения, требуется $0,9 \cdot 10^6$ Дж энергии.

Для превращения в пар 2 кг воды при температуре 100°C необходимо передать вдвое большее количество теплоты, чем в случае испарения 1 кг воды, т. е. $4,6 \cdot 10^6$ Дж. Аналогично для превращения в пар спирта массой 2 кг при температуре кипения потребуется $1,8 \cdot 10^6$ Дж энергии.

Таким образом, количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар при температуре кипения, пропорционально массе жидкости.

Количество теплоты зависит также от рода жидкости. Поэтому формулу для определения количества теплоты, необходимого для превращения жидкости массой m в пар при температуре кипения, следует записать в виде:

$$Q = Lm, \quad (1)$$

где L — некоторая величина, характеризующая тепловые свойства жидкости.

Обсудим физический смысл величины L . Если массу жидкости принять равной единице, то согласно формуле (1) величина L будет численно равна количеству теплоты, необходимому для превращения в пар жидкости массой 1 кг при температуре кипения:

$$L = \frac{Q}{m}. \quad (2)$$

Физическую величину, показывающую, какое количество теплоты необходимо для превращения в пар жидкости массой 1 кг при постоянной температуре, называют **удельной теплотой парообразования**.

Удельную теплоту парообразования обозначают буквой L . Её единица — *джоуль на килограмм* (Дж/кг).

Таким образом, если для превращения воды массой 1 кг в пар при температуре 100°C требуется затратить $2,3 \cdot 10^6$ Дж энергии, то удельная теплота парообразования воды равна $2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг. При этом затраченная энергия пойдёт на увеличение внутренней энергии вещества.

Удельная теплота парообразования показывает, на сколько увеличивается внутренняя энергия вещества массой 1 кг при переходе из жидкого состояния в газообразное при температуре кипения. Таким образом, при температуре кипения внутренняя энергия вещества в парообразном состоянии больше внутренней энергии такой же массы вещества в жидком состоянии.

Энергия, необходимая для перехода вещества из жидкого состояния в газообразное, значительно превышает энергию, необходимую для нагревания этого вещества до температуры кипения, или энергию, необходимую для плавления этого вещества.

Например, для плавления 1 кг льда с температурой $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ требуется 340 кДж энергии. Для нагревания полученной воды массой 1 кг от 0 до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ необходимо уже 420 кДж. А для того чтобы превратить эту воду в 1 кг пара с температурой, равной тем же $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, требуется 2260 кДж ($\approx 2,3 \cdot 10^6$ Дж) энергии.

ВЫДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ Если водяной пар соприкасается с холодными предметами, происходит его конденсация. Пар отдаёт то количество теплоты, которое пошло на его образование.

Например, если для превращения 1 кг воды в пар при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ требуется затратить $2,3 \cdot 10^6$ Дж энергии, то при конденсации 1 кг водяного пара при той же температуре выделяется точно такое же количество теплоты.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ Какое количество энергии необходимо для превращения в пар воды массой 3 кг, взятой при температуре $10\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Запишем условие задачи и решим её.

3

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$t_1 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})}$$

$$L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$$

$$Q = ?$$

Решение:

Общее количество израсходованной энергии

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

где Q_1 — энергия, необходимая для нагревания воды от температуры 10° до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$:

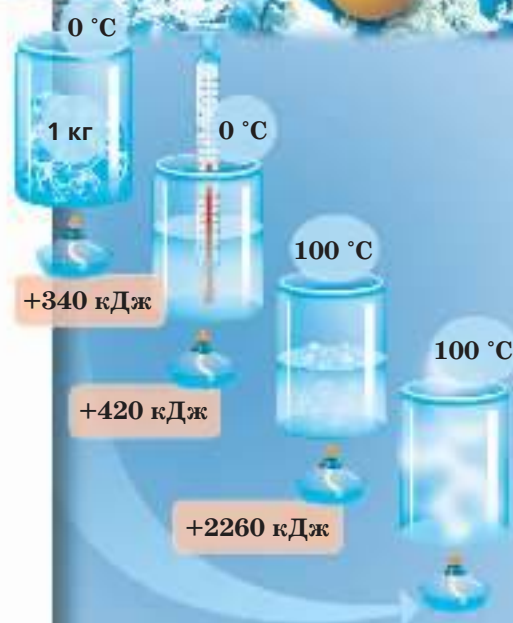
$$Q_1 = cm(t_2 - t_1),$$

а Q_2 — энергия, необходимая для превращения воды в пар без изменения её температуры:

$$Q_2 = Lm.$$

$$Q = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}) \cdot 3 \text{ кг} (100\text{ }^{\circ}\text{C} - 10\text{ }^{\circ}\text{C}) + 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг} \cdot 3 \text{ кг} = 8,034 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Ответ: $Q = 8,034 \cdot 10^6$ Дж, или 8034 кДж.



ВОПРОСЫ:

● Как вычислить количество теплоты, необходимое для превращения в пар жидкости произвольной массы, взятой при температуре кипения?

● Почему ожог горячим паром гораздо опаснее ожога водой той же температуры?

ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое относительная влажность воздуха и как её определить.
- Что такое точка росы.
- Какие приборы используют для определения влажности воздуха.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое парообразование?
- Как происходит испарение?
- Что такое насыщенный и ненасыщенный пар?

Показатель абсолютной влажности принято выражать в граммах на кубический метр. В экваториальных широтах абсолютная влажность воздуха может достигать 30 г/м³. К полюсам показатель снижается до 1 г/м³.

В окружающей нас природе не бывает воздуха без водяных паров, т. е. на Земле нет места, где была бы зарегистрирована нулевая относительная влажность. Наибольшая относительная влажность воздуха — 100 % — бывает при тумане.

Воздух, окружающий нас, всегда содержит водяные пары, возникающие вследствие испарения воды с поверхности водоёмов и суши. Количество пара, содержащегося в атмосфере, играет очень важную роль для жизни на Земле, в том числе оказывает влияние на самочувствие человека.

СОДЕРЖАНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА В ВОЗДУХЕ На уроках географии вы узнали о сухом и влажном климате.

Если в воздухе содержится мало водяных паров, то это создаёт чувство сухости во рту, одежда электризуется и липнет к телу.

Если же водяной пар, содержащийся в воздухе, наоборот, почти насыщен, то при малейшем понижении температуры наступает конденсация пара, выпадают атмосферные осадки в виде росы или тумана.

Содержание водяного пара в воздухе — важная характеристика погоды и климата. Чем выше температура воздуха, тем больше в нём может быть пара.

Так, при температуре +20 °С воздух объёмом 1 м³ может содержать 17 г водяного пара.

В зависимости от количества паров, находящихся при данной температуре в атмосфере, воздух бывает различной степени влажности.

Влажность воздуха характеризуется несколькими показателями.

АБСОЛЮТНАЯ И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ Абсолютная влажность (от лат. *absolut* — полный) ρ показывает, сколько граммов водяного пара содержится в воздухе объёмом 1 м³, т. е. плотность водяного пара, содержащегося в воздухе.

По значению абсолютной влажности воздуха трудно сказать, сухой этот воздух или влажный. Чтобы судить о степени влажности воздуха, важно знать, насколько содержащийся в нём пар близок к состоянию насыщения. Для этого вводится понятие относительной влажности воздуха.

Относительной влажностью воздуха φ называют отношение абсолютной влажности ρ к плотности ρ_0 насыщенного водяного пара при той же температуре, выраженное в процентах:

$$\varphi = \rho / \rho_0 \cdot 100 \%.$$

Например, относительная влажность воздуха равна 50 %. Это значит, что воздух содержит 50 % того водяного пара, который он максимально может содержать при данной температуре.

Считается, что наиболее благоприятная относительная влажность при средних климатических условиях составляет 40—60 %. Отклонение от нормы может вызывать дискомфорт.

ТОЧКА РОСЫ Если влажный воздух охлаждать, то при некоторой температуре находящийся в нём пар станет насыщенным. При дальнейшем охлаждении водяной пар начнёт конденсироваться, выпадет роса, образуется туман.

Температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным, называется **точкой росы**. Точка росы также характеризует влажность воздуха.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ

Для определения влажности воздуха используют такие приборы, как **гигрометр** и **психрометр**.

Гигрометры бывают двух видов — *конденсационные* и *волосные*.

Действие волосного гигрометра основано на свойстве человеческого волоса изменять свою длину при изменении влажности воздуха: он удлиняется при увеличении уровня влажности и укорачивается при его уменьшении.

В гигрометре один конец *волоса* прикреплен к *раме* в верхней части прибора, другой конец волоса обёрнут вокруг *ролика* и натянут при помощи специально подобранного *груза*. К ролику прикреплена *стрелка*.

При увеличении относительной влажности воздуха волос удлиняется и вызывает вращение ролика вместе со стрелкой. Передвигаясь по шкале, она указывает значение влажности воздуха, выраженное в процентах.

Конденсационный гигрометр позволяет определить абсолютную влажность воздуха по точке росы.

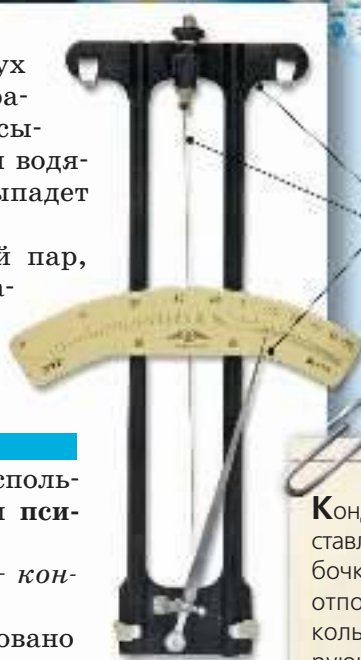
Рассмотрим теперь устройство и принцип действия **психрометра**. Он состоит из двух термометров. Один из них (сухой) показывает температуру воздуха, а другой (влажный) — температуру ткани, смоченной водой.

С поверхности влажной ткани испаряется вода, в результате её температура понижается.

Скорость испарения зависит от температуры и относительной влажности воздуха.

Чем меньше паров в воздухе, тем интенсивнее идёт процесс испарения и тем ниже температура влажного термометра.

С помощью специальной таблицы, называемой психрометрической, по разности показаний сухого и влажного термометров определяют относительную влажность воздуха.



Рамка
Волос
Стрелка
Ролик
Груз
Шкала



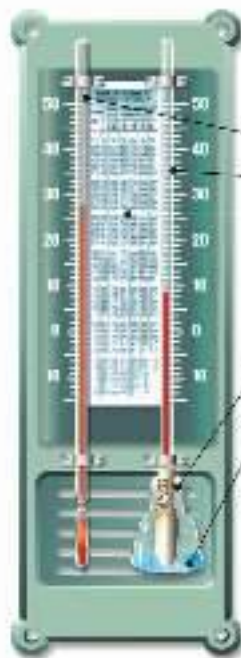
Конденсационный гигрометр представляет собой металлическую коробочку. Её передняя стенка хорошо отполирована. Между стенкой и кольцом расположена теплоизолирующая прокладка.

В коробочку наливается легко испаряющаяся жидкость, например эфир.

При испарении эфира происходит охлаждение стенок гигрометра, и при достижении точки росы на полированной поверхности появляются капли росы. Это говорит о том, что пар стал насыщенным.

Температуру гигрометра измеряют термометром. По таблице плотности насыщенного водяного пара определяют абсолютную влажность воздуха.

Для ускорения процесса испарения эфира через него с помощью груши продувается воздух.



Сухой термометр
Влажный термометр
Психрометрическая таблица
Ткань
Вода

ВОПРОСЫ:

- Почему жару гораздо труднее переносить при высокой влажности?
- На каких принципах основано действие гигрометра и психрометра?

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Все вещества в зависимости от условий могут находиться в трёх агрегатных состояниях: твёрдом, жидком и газообразном.
- Вещества могут переходить из одного агрегатного состояния в другое. Изменение агрегатного состояния вещества всегда связано с выделением или поглощением некоторого количества теплоты.
- Переход вещества из твёрдого состояния в жидкое называется плавлением. Обратный процесс называется кристаллизацией или отвердеванием.
- Переход вещества из жидкого состояния в газообразное называется парообразованием. Обратный процесс называется конденсацией.
- Существует два способа перехода вещества из жидкого состояния в газообразное: испарение и кипение.
- Переход вещества из твёрдого состояния в газообразное называется сублимацией или возгонкой. Обратный процесс называется десублимацией.



«ПОДРОБНЕЕ...»

Перельман Я. И. Занимательная физика. Кн. 2. — М.: Римис, 2010.

Перельман Я. И. Знаете ли вы физику? — М.: Римис, 2009.

Тит Том. Научные забавы: интересные опыты, самоделки, развлечения. — М.: ИД Мещерякова, 2010.

Хилькевич С. С. Физика вокруг нас. Библиотечка «Квант». Вып. 40. — М.: Наука, 1985.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Почему конденсация водяного пара в атмосфере в капельки дождя или снежинки ведёт к потеплению воздуха?
- В зимнее время тротуары и пешеходные дорожки посыпают солью, от чего снег начинает таять. Что при этом происходит?
- Чем можно объяснить, что во время сильных морозов в лесу трещат деревья?

Российский образовательный портал

<http://experiment.edu.ru/catalog.asp>



ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

- ЭНЕРГИЯ ТОПЛИВА.
ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ
ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
- ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО
СГОРАНИЯ
- ПАРОВАЯ ТУРБИНА
- РЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ.
ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ
- ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ
И ЭКОЛОГИЯ



КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

...Природа, повсюду предоставляя горючий материал, дала нам возможность всегда и везде получать теплоту и сопровождающую её движущую силу. Развивать эту силу и приспособлять её для наших нужд — такова цель тепловых машин.

Н. Л. Сади Карно

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое удельная теплота сгорания топлива.
- Как вычислить количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива.
- Что такое тепловые двигатели.
- Что называют КПД теплового двигателя.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое количество теплоты?
- При каких условиях внутренняя энергия переходит в механическую?



Реакция окисления



Если обозначить величины: количество теплоты — Q , масса топлива — m и удельная теплота сгорания топлива — q , то количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании топлива, рассчитывается по формуле

$$Q = qm.$$

ЭНЕРГИЯ ТОПЛИВА. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В глубокой древности люди научились разжигать огонь — первый самостоятельно добытый источник энергии. На огне готовят пищу, им обогревают жилище, он горит в топках тепловых электростанций. Для того чтобы огонь горел, необходимо топливо. В качестве топлива могут быть использованы уголь, нефть, торф, дрова, природный газ и др. Технический прогресс во многом зависит от умения человечества использовать огромные запасы внутренней энергии различных видов топлива.

ЭНЕРГИЯ ТОПЛИВА При сгорании топлива выделяется энергия. Выясним, за счёт чего это происходит.

Горение топлива — это химическая реакция окисления, при которой атомы углерода, содержащиеся в топливе, соединяются с атомами кислорода, содержащимися в воздухе. В результате образуются молекулы углекислого газа, кинетическая энергия которых оказывается больше, чем у исходных частиц. Поэтому процесс горения сопровождается выделением энергии.

Энергия, выделяющаяся при полном сгорании топлива, называется **теплотой сгорания топлива**.

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА Как показывают опыты, при сгорании 1 кг сухих берёзовых дров выделяется $1,0 \cdot 10^7$ Дж энергии. При сгорании 2 кг сухих дров выделяется $2,0 \cdot 10^7$ Дж, т. е. вдвое больше. Следовательно, количество теплоты, выделяемое при сжигании топлива, пропорционально массе топлива.

При сгорании разного топлива одинаковой массы выделяется разное количество теплоты. Например, при сжигании 1 кг нефти можно получить количество теплоты, в 3 раза большее, чем при сжигании той же массы торфа, и в 4 раза большее, чем при сжигании той же массы дров.

Приведённые примеры показывают, что при полном сжигании топлива массой m количество выделенной энергии Q зависит также от вида топлива:

$$Q = qm, \quad (1)$$

где q — некоторая величина, характеризующая тепловые свойства топлива и называемая **удельной теплотой сгорания топлива**.

Нетрудно установить физический смысл этой величины. Если массу топлива принять равной единице массы, то согласно формуле (1) величина q будет численно равна количеству теплоты.

Измеряется удельная теплота сгорания топлива в **джоулях на килограмм** (1 Дж/кг).

ПРОСТЕЙШИЙ ТЕПЛОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ Если в пробирку, плотно закрытую пробкой, налить немного воды и нагреть её до кипения, то под давлением образовавшегося пара пробка вылетит из пробирки. Часть энергии топлива перешла во внутреннюю энергию пара, который, расширяясь, совершил работу по перемещению пробки. Внутренняя энергия пара превратилась в кинетическую энергию пробки.

Если заменить пробирку прочным металлическим цилиндром, а пробку плотно пригнанным поршнем, который может двигаться вдоль цилиндра, то получится *простейший тепловой двигатель*. Устройства, в которых происходит преобразование внутренней энергии топлива в механическую, называют **тепловыми двигателями**.

Первые тепловые двигатели были созданы Т. Ньютоном, И. Ползуновым и усовершенствованы Д. Уаттом в XVIII в.

Газ, расширение которого вызывает перемещение поршня, называют **рабочим телом**. Газ, получив энергию от нагревателя, расширяется и совершает работу.

Для постоянной работы теплового двигателя необходимо, чтобы поршень после расширения газа возвращался в исходное положение, сжимая газ до первоначального состояния. Для этого газ нужно охладить. Следовательно, нужно иметь *холодильник*, которому рабочее тело отдаёт некоторое количество теплоты. Роль холодильника может выполнять и окружающий воздух. После этого вновь могут происходить процессы расширения и сжатия газа, т. е. работа теплового двигателя состоит из периодически повторяющихся процессов (*циклов*) расширения и сжатия.

Рабочее тело, получая некоторое количество теплоты Q_1 от нагревателя, часть этого количества теплоты, по модулю равную $|Q_2|$, отдаёт холодильнику. Поэтому совершаемая работа не может быть больше

$$A = Q_1 - |Q_2|.$$



КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

При сгорании топлива в двигателе только часть энергии идёт на совершение полезной работы. Чем меньше энергии теряется, тем экономичнее тепловой двигатель.

Для характеристики экономичности различных двигателей вводится понятие *коэффициента полезного действия двигателя* — КПД.

Отношение полезной работы, совершённой двигателем, к энергии, полученной от нагревателя, называют **коэффициентом полезного действия теплового двигателя**:

$$\eta = \frac{A_n}{Q_1} \cdot 100 \%, \quad \text{или} \quad \eta = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} \cdot 100 \%.$$



У всех тепловых двигателей КПД невысок, он не достигает даже 50 %. Это означает, что более половины энергии, содержащейся в топливе, теряется. Основная причина низкого КПД тепловых двигателей заключается в том, что пар или газ, получив энергию от сгоревшего топлива, не может её полностью превратить в механическую энергию. Часть её неизбежно рассеивается в окружающем пространстве и не может быть использована.

ВОПРОСЫ:

- Какую величину называют удельной теплотой сгорания топлива?
- Как вычислить количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива?
- Что такое тепловой двигатель?
- Что называют КПД теплового двигателя?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое двигатель внутреннего сгорания.
- Как устроен двигатель внутреннего сгорания и как он работает.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое тепловой двигатель?
- Каковы основные части теплового двигателя?
- Что называют КПД теплового двигателя?



Этьен Ленуар
(1822—1900)

Французский изобретатель.

Изобретение двигателя внутреннего сгорания сыграло огромную роль в автомобилестроении. Первый автомобиль с бензиновым двигателем внутреннего сгорания был создан в 1886 г. Г. Даймлером. В том же году появился трёхколёсный автомобиль К. Бенца. Их скорость достигала 18 км/ч. В 1892 г. свой первый автомобиль построил Г. Форд.



ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Существует несколько видов тепловых двигателей, которые можно разделить на двигатели внешнего сгорания и двигатели внутреннего сгорания.

**ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Среди способов увеличения КПД тепловых двигателей один оказался особенно рациональным. Сущность его состояла в уменьшении потерь энергии за счёт перенесения места сжигания топлива и нагрева рабочего тела внутрь цилиндра. Отсюда и происхождение названия «двигатель внутреннего сгорания» (ДВС). Двигатели внутреннего сгорания работают на жидком топливе (бензин, керосин, нефть) или на горючем газе.

Двигатель внутреннего сгорания — один из самых распространённых двигателей. Он приводит в движение автомобили, тракторы, тепловозы, теплоходы и т. д.

Первый двигатель внутреннего сгорания был создан в 1860 г. французским инженером Э. Ленуаром. КПД его двигателя был равен всего 3,3 %. Однако благодаря развитию инженерной мысли в короткие сроки он был значительно усовершенствован.

УСТРОЙСТВО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Рассмотрим простейший двигатель внутреннего сгорания. Он состоит из *цилиндра*, в котором перемещается *поршень*, соединённый с *шатун* (шатун — деталь механизма, предназначенная для соединения с коленчатым валом).

Шатун насажен на *коленчатый вал* и приводит его во вращение при движении поршня в цилиндре. В верхней части цилиндра имеются два отверстия, в которые вставлены *клапаны* — *впускной* и *выпускной*.

При работе двигателя по мере необходимости клапаны открываются и закрываются. Через них в цилиндр посту-



пает горючая смесь, которая воспламеняется с помощью *свечи*, а также выходят отработанные газы.

ЧЕТЫРЕ ТАКТА РАБОТЫ ДВС Крайние положения поршня в цилиндре называют **мёртвыми точками**, а расстояние, проходимое поршнем от одной мёртвой точки до другой, — **ходом поршня**. Один рабочий цикл в двигателе происходит за четыре хода поршня — четыре *такта*, поэтому такие двигатели называют *четырёхтактными*. Один ход поршня, или один такт двигателя, совершается за пол-оборота коленчатого вала.

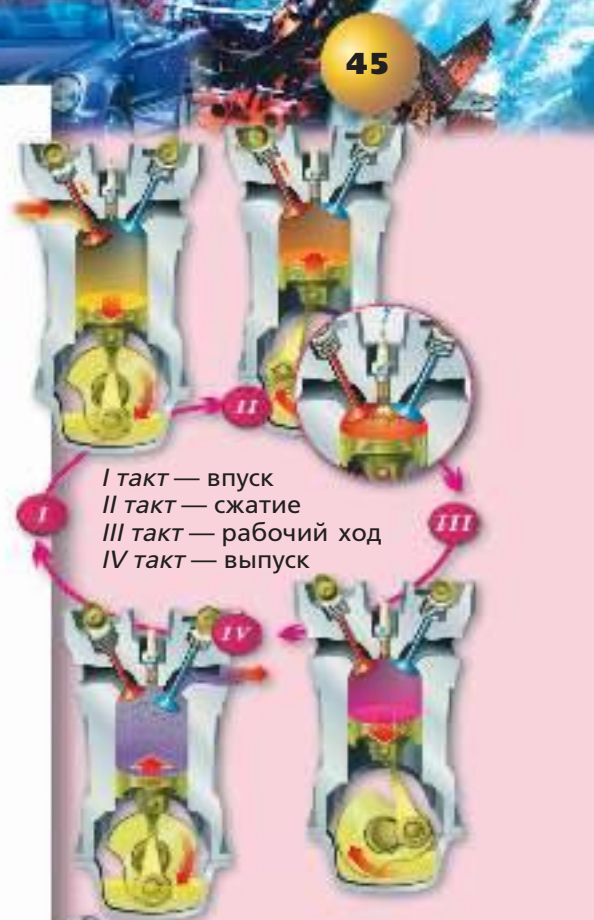
■ **Первый такт — впуск.** Поршень движется сверху вниз от верхней мёртвой точки в нижнюю. Объём над поршнем увеличивается, и давление газа в цилиндре над ним уменьшается. Впускной клапан открывается, и через него поступает горючая смесь (смесь паров бензина и воздуха). Выпускной клапан при этом закрыт. Когда поршень приходит в нижнюю мёртвую точку, впускной клапан закрывается.

■ **Второй такт — сжатие.** При дальнейшем повороте вала поршень движется вверх и сжимает горючую смесь. Оба клапана закрыты. Когда поршень доходит до крайнего верхнего положения, сжатая горючая смесь воспламеняется (от электрической искры) и быстро сгорает.

■ **Третий такт — рабочий ход.** При сгорании горючей смеси выделяется большое количество теплоты. Температура газообразных продуктов сгорания достигает $1600\text{--}1800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Давление на поршень при этом возрастает. Расширяясь, газ толкает поршень, а вместе с ним и коленчатый вал с насаженным на него массивным маховиком, совершая при этом механическую работу. При этом газ охлаждается, так как часть его внутренней энергии превращается в механическую. Получив сильный толчок, маховик продолжает вращаться по инерции и перемещает, посредством коленчатого вала, поршень при последующих тактах.

■ **Четвёртый такт — выпуск.** Поршень движется вверх, выталкивая через открытый выпускной клапан отработанный газ. В конце четвёртого такта выпускной клапан закрывается. Затем цикл повторяется.

ДИЗЕЛЬНЫЕ И КАРБЮРАТОРНЫЕ ДВС Двигатели внутреннего сгорания подразделяются на *дизельные* и *карбюраторные*. Основное их отличие заключается в способе подачи топливо-воздушной смеси в цилиндр и способе её воспламенения. Дизельные двигатели являются наиболее экономичными тепловыми двигателями: они работают на дешёвых видах топлива и имеют КПД $30\text{--}50\%$. Карбюраторные двигатели внутреннего сгорания имеют довольно низкий КПД — $25\text{--}30\%$.



В карбюраторном двигателе горючая смесь готовится вне двигателя в специальном устройстве — карбюраторе и из него поступает в двигатель, в необходимый момент поджигаясь свечой зажигания. В дизельном двигателе воздух попадает в цилиндр отдельно от топлива и затем сжимается. Из-за высокой степени сжатия, когда воздух нагревается до температуры самовоспламенения дизельного топлива ($700\text{--}800\text{ }^{\circ}\text{C}$), оно впрыскивается в камеры сгорания форсунками под большим давлением.

ВОПРОСЫ:

- Из каких тактов состоит работа двигателя внутреннего сгорания?
- В какой из тактов внутренняя энергия топлива превращается в механическую, т. е. двигатель совершает работу?
- Какую роль выполняет маховик в двигателе внутреннего сгорания?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое паровая турбина.
- Из каких частей состоит паровая турбина и как она работает.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое тепловой двигатель?
- Каковы основные части теплового двигателя?
- Что называют КПД теплового двигателя?

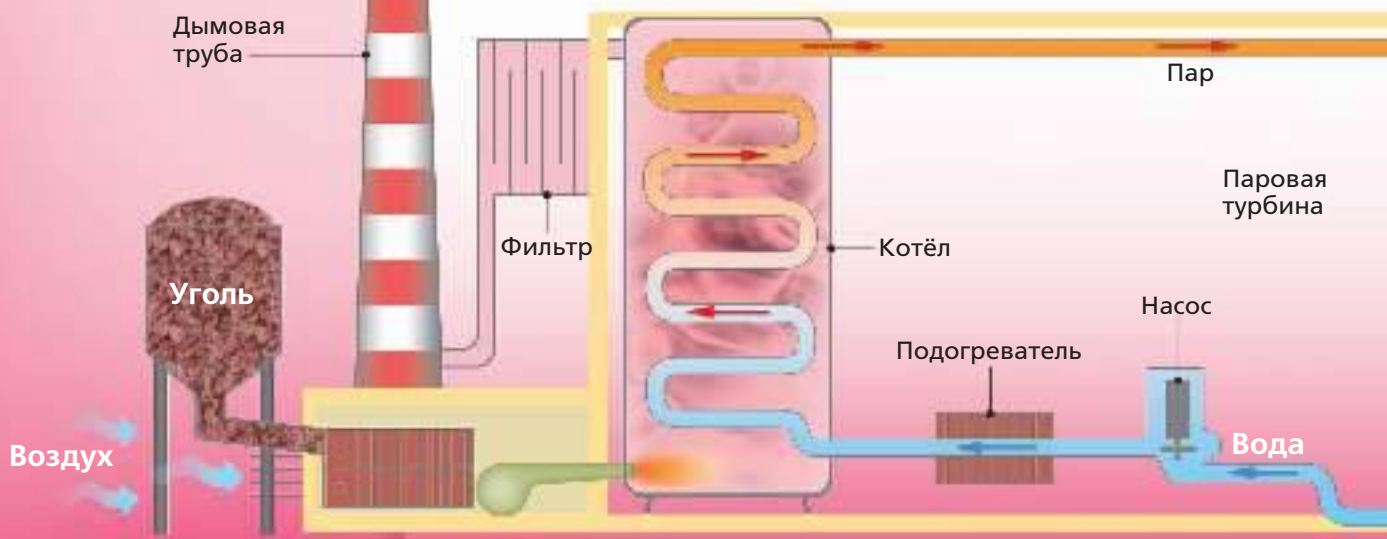
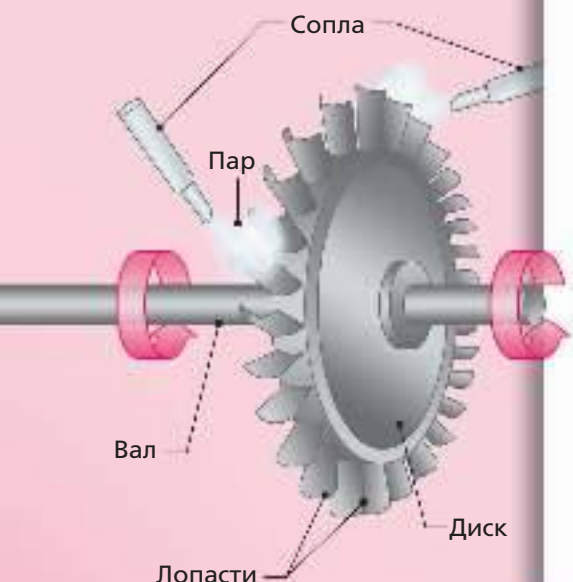
ПАРОВАЯ ТУРБИНА

В наше время широкое распространение получил другой тип теплового двигателя, называемый **турбиной**.

ПАРОВАЯ ТУРБИНА Паровая турбина представляет собой насаженный на *вал* массивный *диск*. По ободу диска закреплены *лопасти*. Около лопастей расположены трубы — *сопла*, в которые поступает пар из котла.



ПРИНЦИП РАБОТЫ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ В паровом котле под большим давлением получается пар, температура которого достигает 600°C . Он направляется в сопло и в нём расширяется. При расширении пара его внутренняя энергия превращается в кинетическую энергию направленного движения струи пара. Эти струи поступают из сопла на лопасти турбины, вследствие чего диск турбины вращается с достаточно высокой скоростью. Вал и диск с лопастями образуют *ротор турбины*, который находится в специальном корпусе. По всей поверхности корпуса помещаются сопла. В современных турбинах применяют не один, а несколько дисков, насаженных на общий вал. Пар, последовательно проходя через лопасти всех дисков, отдаёт каждому из них часть своей энергии.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРОВЫХ ТУРБИН Паровые турбины широко применяют на современных тепловых и атомных электростанциях, где паровую турбину соединяют с генератором электрического тока.

Тепловые электростанции работают по следующему принципу: топливо сжигается в топке парового котла. Выделяющееся при горении тепло приводит к испарению воды, циркулирующей внутри расположенных в котле труб, и подогревает образовавшийся пар.

Пар, расширяясь, вращает ротор турбины, а тот, в свою очередь, вал электрического генератора. Затем отработанный пар конденсируется, вода из конденсатора через систему подогревателей возвращается в котёл.

ПРЕИМУЩЕСТВА ПАРОВЫХ ТУРБИН По сравнению с другими тепловыми двигателями турбины обладают рядом преимуществ.

Рабочим телом турбины является водяной пар, для получения которого подходит практически любое, даже самое дешёвое, топливо. Кроме того, турбины позволяют получать довольно большие мощности, а их КПД составляет 30—40 %.

Паровые турбинные двигатели нашли широкое применение на водном транспорте. Их применение на сухопутном транспорте и тем более в авиации ограничено необходимостью иметь топку и котёл для получения пара, а также большое количество воды для использования в качестве рабочего тела.

Существуют паровые турбины специального назначения, работающие на отбросном тепле — воде, нагревающейся в процессах охлаждения на металлургических, машиностроительных и химических предприятиях.

К достоинствам паровых турбин обычно относят:

- возможность работы на различных видах топлива: газообразном, жидком, твёрдом;
- использование доступного теплоносителя;
- широкий диапазон мощностей;
- возможность длительной эксплуатации.

Недостатки паровых турбин:

- высокая инерционность паровых установок (долгое время пуска и остановки);
- низкое количество производимой электроэнергии в соотношении к затраченной тепловой энергии;
- дорогостоящий ремонт;
- снижение экологических показателей при использовании тяжёлых мазутов и твёрдого топлива.



ЛЭП



Градирня

ВОПРОСЫ:

- Какие тепловые двигатели называют паровыми турбинами?
- Каковы основные части турбины?
- Какими преимуществами обладает турбина по сравнению с двигателем внутреннего сгорания?



ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как устроены газовые турбины.
- Что собой представляет и как работает реактивный двигатель.
- На чём основан принцип работы холодильников.
- Каковы основные части холодильной установки.

ВСПОМНИТЕ:

- Как устроен двигатель внутреннего сгорания?
- Как устроена паровая турбина?
- Как происходит процесс передачи энергии?
- Что происходит с энергией при испарении?



Реактивный двигатель



РЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ. ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Реактивный двигатель и холодильные устройства — примеры тепловых двигателей, играющих существенную роль в современной жизни.

ГАЗОВАЯ ТУРБИНА

Газовая турбина сочетает в себе достоинства двигателя внутреннего сгорания и паровой турбины. Важное преимущество газовой турбины — это упрощённое преобразование внутренней энергии газа во вращательное движение вала, в турбине нет поршня, шатуна и коленчатого вала. Как и в любом двигателе внутреннего сгорания, в газовой турбине отсутствуют топка и котёл. Такие двигатели, имея большую мощность, нашли широкое применение в авиации.

При работе турбины ротор *компрессора* вращается и засасывает воздух через *входное сопло*. Воздух, проходя через ряд лопастей компрессора, сжимается, его давление и температура повышаются. Сжатый воздух поступает в *камеры сгорания*. Одновременно через форсунку в неё впрыскивается под большим давлением жидкое топливо (керосин, мазут).

При горении топлива воздух, служащий рабочим телом, нагревается до 1500—2200 °С. Воздух расширяется, и скорость его движения увеличивается.

Движущиеся с большой скоростью воздух и продукты горения направляются в *газовую турбину*. Переходя от ступени

к ступени, они отдают свою кинетическую энергию лопаткам ротора турбины, при этом их температура уменьшается до 550 °С.

Часть полученной турбиной энергии расходуется на вращение компрессора, а остальная энергия используется, например, для вращения винта самолёта или ротора электрического генератора. Отработанный воздух вместе с продуктами сгорания при давлении, близком к атмосферному, со скоростью более 500 м/с выбрасывается через *выходное сопло* в атмосферу.

РЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Газовая турбина может быть использована как **реактивный двигатель**. Воздух и продукты горения выбрасываются из газовой турбины с большой скоростью. Реактивная сила тяги, возникшая при этом, может быть использована для движения самолёта, судна, автомобиля. Реактивные двигатели, которые применяют в ракетах, не используют в своей работе воздух земной атмосферы.

В ракетах горючее сгорает в камерах сгорания и образовавшиеся газы оказывают сильное давление на стенки камеры. С одной стороны камеры имеется сопло, через которое продукты сгорания вырываются в окружающее пространство. При этом расширяющиеся газы оказывают давление на стенки камеры, как на поршень, толкая ракету вперёд.

Итак, в реактивном двигателе внутренняя энергия топлива непосредственно преобразуется в кинетическую энергию движущегося аппарата.

ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ В природе процесс передачи энергии от холодного тела к горячему невозможен. Однако в быту мы нередко используем холодильник для охлаждения пищевых продуктов.

Его действие заключается в том, что от холодного тела, находящегося в морозильнике, отнимается некоторое количество теплоты и передаётся более нагретому телу. Этим телом является воздух в комнате, который в результате работы холодильника дополнительно нагревается. В этом легко убедиться, если поднести руку к радиатору, расположенному на задней стенке холодильника.

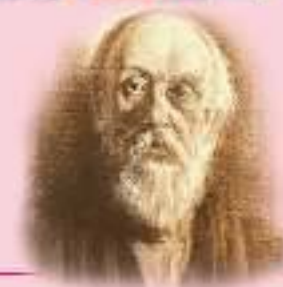
Для охлаждения в холодильнике используется вещество, которое легко испаряется, например *фреон* (кипит при $-29,8^{\circ}\text{C}$).

Через *вентиль* жидкий фреон подаётся в *испаритель* и в нём быстро испаряется. Испарение сопровождается поглощением энергии от стенок испарителя, от воздуха, соприкасающегося с ним, и от продуктов, находящихся в морозильной камере.

Компрессор, приводимый в действие электродвигателем, откачивает газообразный фреон из испарителя и нагнетает его в *конденсатор*. В конденсаторе, обычно расположенном на задней стенке холодильника, фреон конденсируется и вновь поступает через вентиль в испаритель.

Итак, за счёт энергии, потребляемой от электрической сети, совершается процесс передачи тепла от холодильной камеры к более нагретым телам.

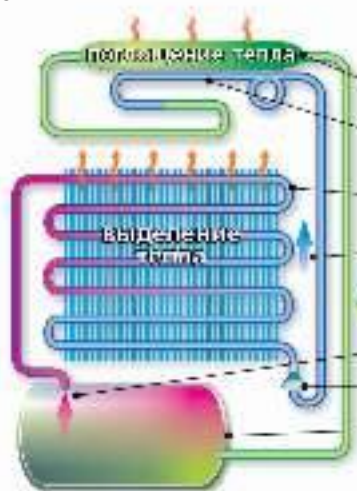
Искусственное охлаждение стало неотъемлемой частью современной жизни. Так, для охлаждения воздуха в помещении используются кондиционеры, а для длительного хранения продуктов — разнообразные холодильные установки.



Константин Эдуардович Циолковский
(1857—1935)

Русский учёный. В 1903 г. впервые предложил конструкцию космической ракеты с жидкостным реактивным двигателем.

Процесс испарения жидкости происходит и без подвода энергии извне. В этом случае испарение осуществляется за счёт уменьшения внутренней энергии соседних слоёв жидкости, что приводит к понижению её температуры. Особенно сильный эффект наблюдается при быстром испарении жидкости. Это явление и используется в работе холодильных машин.



Осушитель
Испаритель
Конденсатор
Жидкий фреон
Пары фреона низкого давления
Пары фреона высокого давления
Вентиль
Компрессор

ВОПРОСЫ:

- На каком физическом принципе основано реактивное движение?
- В чём заключается сходство, а в чём различия в работе паровой и газовой турбин?
- Как можно определить КПД холодильной машины?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Каковы экологические проблемы использования тепловых машин.
- Каковы возможные пути решения этих экологических проблем.

ВСПОМНИТЕ:

- Как устроен двигатель внутреннего сгорания?
- Как устроена паровая турбина?
- На чём основан принцип работы холодильников?

ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ И ЭКОЛОГИЯ

Непрерывное развитие энергетики, автомобильного и других видов транспорта, возрастание потребления угля, нефти и газа в промышленности и на бытовые нужды увеличивают возможности удовлетворения жизненных потребностей человека. Однако в настоящее время количество ежегодно сжигаемого в различных тепловых машинах топлива настолько велико, что запасы ископаемого топлива на нашей планете стремительно оскудевают и всё более сложной проблемой становится охрана природы от вредного влияния продуктов сгорания.

ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ СО СЖИГАНИЕМ ТОПЛИВА

Отрицательное влияние тепловых машин на окружающую среду связано с действием различных факторов.

При сжигании топлива в реакции участвует кислород из атмосферы, вследствие чего его содержание в воздухе постепенно уменьшается.

При горении газа, угля или нефти в воздух выбрасываются миллионы тонн газообразных веществ, таких, как углекислый газ, метан, оксиды серы и азота и многие другие. Кроме этого, в воздух попадают зола, пыль и копоть.

В атмосфере Земли в настоящее время содержится около $190 \cdot 10^{12}$ т углекислого газа (около 0,038 %). До периода бурного развития энергетики и транспорта количество углекислого газа, поглощаемого из атмосферы при фотосинтезе растениями и растворяемого в Мировом океане, было равно количеству газа, выделяемого при дыхании и гниении. В последние десятилетия этот баланс стал нарушаться. В настоящее время за счёт сжигания угля, нефти и газа в атмосферу Земли ежегодно поступает дополнительно около 20 млрд т углекислого газа.

Загрязнение воздуха азотными и серными соединениями очень вредно для здоровья человека, отрицательно влияет на животный и растительный мир Земли. Особенно существенно это загрязнение в крупных городах и промышленных центрах.

Более половины всех загрязнений атмосферы создаёт транспорт. Кроме оксида углерода и соединений азота, автомобильные двигатели ежегодно выбрасывают в атмосферу 2—3 млн т свинца.

Так как автомобильные двигатели играют решающую роль в загрязнении атмосферы в городах, проблема их усовершенствования представляет одну из наиболее актуальных научно-технических задач.

Перспективными являются разработки и испытания автомобилей, в которых вместо бензиновых двигателей применяются электродвигатели, питающиеся от аккумуляторов, или двигатели, использующие в качестве топлива водород.

Попадающие в атмосферу продукты сгорания создают дополнительные кислоты. В результате повышается кислотность водяных паров и на землю проливаются кислотные дожди, наносящие урон растениям и животным.



ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ГЛОБАЛЬНЫМ ПОТЕПЛЕНИЕМ

Многие современные учёные утверждают, что в течение последнего столетия температура атмосферы нашей планеты увеличилась на один градус выше среднего показателя. Изменение климата на Земле происходит в результате как естественных внутренних процессов, так и деятельности человека.

На первый взгляд производство на планете $3 \cdot 10^{17}$ кДж энергии в год, отнесённое к площади освоенной человеком суши (8,5 млрд га), даёт ничтожное увеличение по сравнению с поступлением лучистой энергии Солнца на земную поверхность (приблизительно 1 кДж на 1 м^2 поверхности каждую секунду).

Трудно с уверенностью сказать, происходит глобальное потепление или нет, так как наблюдаемый рост температуры всё ещё находится в пределах естественных температурных колебаний.

Однако если ежегодное использование первичных энергоресурсов возрастёт в 100 раз, то средняя температура на Земле повысится примерно на 1°C . Дальнейшее повышение температуры может привести к интенсивному таянию ледников и катастрофическому повышению уровня Мирового океана, к изменению природных комплексов, что существенно изменит условия жизни человека на планете. Сегодняшние темпы роста энергопотребления таковы, что прогнозы на будущее выглядят очень тревожно.

Применение паровых турбин на электростанциях требует много воды и больших площадей, занимаемых под пруды для охлаждения отработанного пара.

Если отработанную горячую воду мощной теплоэлектростанции сливать в проточную воду, то её температура повысится. Такого воздействия на гидросферу допускать нельзя, оно приведёт к изменению теплового режима в реках, видового состава флоры и фауны. Поэтому рядом с теплоэлектростанциями создаются пруды-охладители площадью 10—20 км^2 , изолированные от рек и озёр.



В 70-е гг. XX в. учёные заговорили об истончении озонового слоя над Южным полюсом.

Этот слой чрезвычайно важен для поддержания жизни на нашей планете, поскольку защищает биосферу от вредного ультрафиолетового излучения Солнца.

Предполагается, что появление озоновых дыр связано с поступлением в атмосферу фреонов — газообразных веществ, широко используемых в холодильниках, а также в различных аэрозольных упаковках.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Человечество осознало, что нерациональное использование результатов технического прогресса может нанести огромный вред хрупкому равновесию в мировой экосистеме. Поэтому широкое распространение получили поиски альтернативных источников энергии, таких, как солнечные батареи, ветровые и геотермальные электростанции, переработка бытовых отходов и отходов производства.

Экономя электроэнергию, воду и тепло в нашем доме, мы уменьшаем количество вредных выбросов в атмосферу. Каждый может внести свой вклад в сохранение нашей планеты.

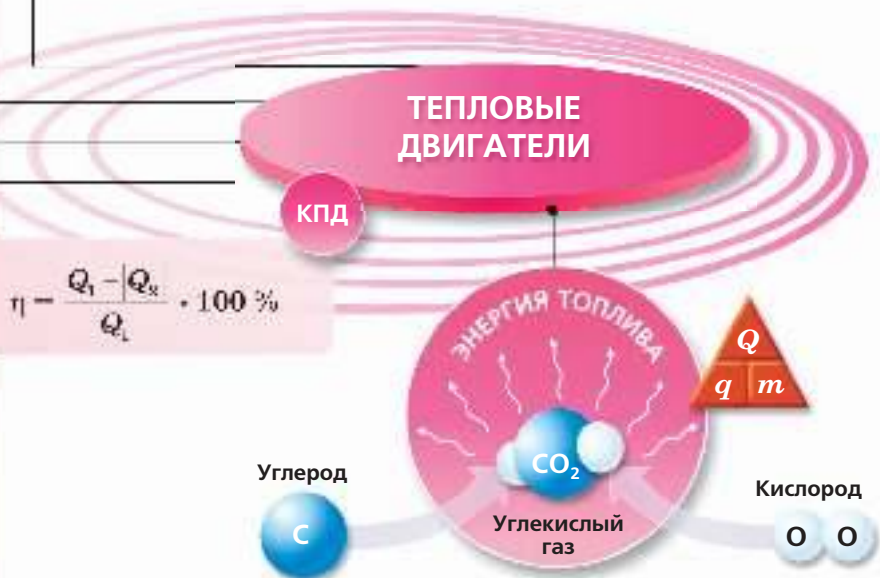


ВОПРОСЫ:

- Какое отрицательное воздействие оказывают тепловые машины на экологию?
- Каковы способы уменьшения отрицательного влияния тепловых машин на экологию?

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Энергию, выделяющуюся при полном сгорании топлива, называют теплотой сгорания топлива.
- Устройства, в которых происходит преобразование внутренней энергии топлива в механическую, называют тепловыми двигателями.
- Отношение полезной работы, совершённой двигателем, к энергии, полученной от нагревателя, называют коэффициентом полезного действия теплового двигателя.
- Существует несколько видов тепловых двигателей, которые можно разделить на двигатели внутреннего сгорания и двигатели внешнего сгорания.
- Двигатель внутреннего сгорания — один из самых распространённых двигателей. Он приводит в движение автомобили, тракторы, тепловозы, теплоходы и т. д.
- В современной технике широко применяют такие тепловые двигатели, как турбина, реактивный двигатель и холодильные устройства.



«ПОДРОБНЕЕ...»

Энциклопедия для детей. Т. 14. Техника. — М.: Аванта+, 2001.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Почему расход топлива автомобилем в городском цикле всегда больше расхода топлива на шоссе?
- Различно ли количество теплоты, выделяемое при полном сжигании 5 кг дров на костре у подножия и на вершине горы?
- Каковы достоинства и недостатки двигателей внутреннего сгорания?

Политехнический музей
<http://eng.polymus.ru/rv/?h=news>

Физика машин
<http://www.naukadv.ru/dvigateli-vnytrennego-sgoraniya>

Музей техники
 Вадима Задорожного
<http://www.tmuseum.ru/>





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

- ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД
- ЭЛЕКТРОСКОП. ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ
- ДЕЛИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА. ЭЛЕКТРОН
- СТРОЕНИЕ АТОМОВ. ИОНЫ
- ПРИРОДА ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ТЕЛ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЗАРЯДА
- ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ
- ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ

КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

...Существует электричество двух родов, в высокой степени отличных один от другого: один род я называю «стеклянным» электричеством, другой — «смоляным»...

Ш. Ф. Дюфе

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое электризация.
- Какие тела называют наэлектризованными.
- Как взаимодействуют одноимённо и разноимённо заряженные тела.

ВСПОМНИТЕ:

- Какие электромагнитные явления вы знаете?

**Фалес Милетский**

(Ок. 590—ок. 547 до н. э.)
Древнегреческий философ и математик.

**Уильям Гильберт**
(1544—1603)

Английский физик, считается основоположником науки об электричестве.



ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

Значение электричества в жизни современного общества чрезвычайно велико. При помощи электричества осуществляется телефонная связь, радиопередача, работает телевидение и многое другое. При дальнейшем изучении физики вы также узнаете, что электрические (более правильно — электромагнитные) явления определяют устойчивость атомов, объединяют атомы в молекулы, взаимодействие между которыми и формирует структуру вещества. Все виды сил трения и упругости, которые вы изучали в разделе механики, в своей основе имеют электрическую природу.

УДИВИТЕЛЬНОЕ СВОЙСТВО ЯНТАРЯ Ещё в VI в. до н. э. знаменитый философ и математик Фалес Милетский, имевший титул одного из семи мудрецов Греции, впервые исследовал удивительное свойство янтаря.

Янтарь — это окаменевшая смола деревьев, росших на Земле сотни тысяч лет назад. С незапамятных времён люди наделяли янтарь различными чудодейственными свойствами. Особый интерес вызывало свойство янтаря после натирания шерстью притягивать к себе лёгкие предметы. Легенда рассказывает, что юная дочь Фалеса не могла, как ни старалась, очистить янтарное веретено от приставших к нему пылинок и ниточек: они вновь и вновь прилипали обратно.

Долгое время считалось, что этим особенным свойством обладает только янтарь. Однако через 2 тысячи лет английский физик У. Гильберт, исследовавший это явление, обнаружил, что аналогичным свойством обладают алмаз, сапфир, стекло и некоторые другие материалы, если потереть их о шёлк. Все эти вещества он назвал *электрическими*, т. е. подобными янтарю (от греч. *electron* — янтарь).

ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ Если тело после натирания приобретает способность притягивать к себе другие тела, говорят, что оно *наэлектризовано* или *заряжено* либо что ему сообщили *электрический заряд*. В данном случае трение не играет определяющей роли.



Электризация наблюдается всегда при контакте двух разнородных тел, например стекла и кожи, эбонита или резины и шерсти и т. д. Если эбонитовую палочку потереть о кусочек шерсти, то не только палочка, но и сукно начнёт притягивать лёгкие предметы.

Это говорит о том, что при трении электрический заряд приобретают оба тела. Данное явление называют *электризацией трением*.

Главную роль здесь играет плотное соприкосновение поверхностей электризуемых тел, а трение лишь способствует увеличению площади их контакта.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ТЕЛ Как взаимодействуют между собой наэлектризованные тела, например стеклянная палочка, потёртая о шёлк, и эбонитовая, потёртая о мех?

Наэлектризуем трением о мех эбонитовую палочку, подвешенную на нити. Приблизим к ней другую такую же наэлектризованную палочку.

В результате *палочки отталкиваются*.

Теперь наэлектризуем стеклянную палочку трением о шёлк. Приблизим её к подвешенной на нити наэлектризованной эбонитовой палочке.

В результате *палочки притягиваются*.

В первом случае мы использовали одинаковые палочки и наэлектризовали их трением об одно и то же тело, поэтому можно предположить, что они имеют заряды одного и того же рода (*одноимённые*).

Таким образом, *тела, имеющие одноимённые заряды, отталкиваются друг от друга*.

Во втором случае заряд, образовавшийся на стекле, может быть другого рода, чем на эбоните.

Таким образом, *тела, имеющие заряды разного рода (разноимённые), притягиваются друг к другу*.

ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ ЗАРЯДЫ

Несмотря на обилие различных веществ, в природе существует только два рода электрических зарядов, условно называемых *положительными* и *отрицательными*.

Положительными (+) называют заряды, подобные возникающим на стекле, потёртом о шёлк, а **отрицательными (-)** — заряды, подобные тем, которые возникают на эбоните, потёртом о мех.

Если тела имеют заряды одинакового знака, то они отталкиваются.

Если тела имеют заряды противоположных знаков, то они притягиваются.

Сообщение телу электрического заряда называют электризацией тела.

С примерами электризации мы сталкиваемся в жизни. Если только что просушенные после мытья волосы расчесать пластмассовой расчёской, можно услышать лёгкое потрескивание. Если после этого поднести к волосам листок бумаги, волосы начнут к нему притягиваться. А если проделать этот опыт в темноте перед зеркалом, то можно увидеть, как между волосами и расчёской проскакивают небольшие искорки.

Одежда из синтетической ткани из-за электризации при движении человека иногда прилипает к телу. Для того, чтобы этого избежать, одежду обрабатывают специальным средством, уменьшающим электризацию одежды при её ношении, — антистатиком.

До приближения наэлектризованной палочки подвешенные палочки находились в равновесии. На них действовали сила тяжести и сила натяжения нити, уравновешивающие друг друга. При взаимодействии с наэлектризованной палочкой их положение изменилось, значит, на них стали действовать ещё какие-то другие силы.

В данном опыте мы столкнулись с силами, называемыми **электрическими**.

ВОПРОСЫ:

- Какие тела называют наэлектризованными?
- Какие два рода электрических зарядов существуют в природе?
- Как взаимодействуют между собой положительно и отрицательно заряженные тела?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как устроен электроскоп.
- Как устроен электрометр.
- Что такое проводники.
- Что такое диэлектрики.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое электризация?
- Какие тела называют наэлектризованными?
- Как взаимодействуют одноимённо и разноимённо заряженные тела?



Существует другой вид электроскопа, называемый **электрометром**. Вместо листочков на металлическом стержне укреплен стрелка. При прикосновении заряженного тела к стержню электрометра стрелка отклоняется на некоторый угол. По изменению угла отклонения стрелки электрометра можно судить об увеличении или уменьшении электрического заряда, переданного стержню.



ЭЛЕКТРОСКОП. ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ

Является ли натирание разнородных тел друг о друга единственным способом их электризации? Чтобы ответить на этот вопрос, опять обратимся к опыту.

ПЕРЕДАЧА ЗАРЯДА ПРИ СОПРИКОСНОВЕНИИ ТЕЛ

Поднесём наэлектризованную эбонитовую палочку к бумажной гильзе, висящей на капроновой нити. Гильза сначала притянется к палочке, затем, прикоснувшись, оттолкнётся от неё. Это произошло потому, что гильза, коснувшись палочки, получила от неё отрицательный заряд, а одноимённые заряды отталкиваются. Если же к заряженной гильзе поднести наэлектризованную трением о шёлк стеклянную палочку, то гильза притянется к ней, поскольку в этом случае заряды тел противоположны. Следовательно, *при соприкосновении двух тел электрический заряд может частично переходить с заряженного тела на незаряженное.*

ЭЛЕКТРОСКОП

Зарядим две бумажные гильзы, висящие на капроновых нитях, одинаковыми зарядами, коснувшись гильз заряженной эбонитовой палочкой. Гильзы будут отталкиваться друг от друга. В этом опыте гильзы выполняют функцию своеобразного индикатора: если палочка была заряжена, то они оттолкнутся друг от друга.

На рассмотренном физическом явлении основано действие **электроскопа** (от греч. *electron* и *scopeo* — смотреть, наблюдать) — простейшего прибора для обнаружения электризации тел. Основным элементом школьного электроскопа является металлический стержень с шариком на одном конце и лёгкими листочками из фольги на другом. Стержень пропущен через пластмассовую пробку, вставленную в металлический корпус, закрытый с обеих сторон стёклами. Если зарядить шарик электроскопа, то зарядятся и полоски фольги. Наэлектризованные листочки, отталкиваясь друг от друга, расходятся на некоторый угол. Это означает, что они зарядились одноимённым зарядом. Чем больше угол, на который разойдутся листочки электроскопа, тем сильнее он наэлектризован, тем больший электрический заряд ему сообщён. ➔

Наэлектризуем пластмассовую расчёску о волосы и коснёмся ею шарика электроскопа. При этом листочки электроскопа разойдутся на некоторый угол. Последовательно касаясь расчёской шарика электроскопа, мы увидим, что листочки электроскопа расходятся всё больше. Это свидетельствует о том, что электроскоп накапливает заряд одного знака.

Поднесём теперь к заряженному электроскопу стеклянную палочку, предварительно наэлектризованную трением о шёлк. Опыт показывает, что в этом случае угол между листочками электроскопа уменьшится. Таким способом с помощью электроскопа можно установить знак заряда тела.

ПРОВОДНИКИ Электрический заряд может не только переходить с одного тела на другое, но и перемещаться по самому телу. Например, после прикосновения заряженного тела к верхнему концу стержня электроскопа заряжался и весь стержень, и листочки.

Если зарядить один из двух одинаковых электрометров и соединить приборы металлическим стержнем, то окажется, что отклонение стрелки первого электрометра несколько уменьшится, зато отклонится стрелка второго электрометра. В результате отклонение стрелок обоих приборов будет одинаковым.

Металл является веществом, по которому электрический заряд может свободно перемещаться. Поэтому от заряженного электроскопа по металлическому стержню половина заряда перешла к незаряженному. В результате они оказались одинаково заряженными и их стрелки отклонились на одинаковые углы.



Вещества, по которым электрический заряд легко передаётся от одного тела к другому, называют **проводниками**. Примерами хороших проводников могут служить различные металлы, растворы солей и кислот в воде, а также графит.



В технике для получения больших электрических зарядов используется установка, называемая генератором Ван-де-Граафа. Генератор представляет собой полый металлический шар, закреплённый на изолирующей колонне. Внутри шара посредством резиновой ленты передаётся заряд. Электрический заряд на небольших установках заставляет встать дыбом волосы у человека, коснувшегося купола генератора, поскольку одноимённо заряженные кончики волос начинают отталкиваться.

ДИЭЛЕКТРИКИ Если электрометры из предыдущего опыта соединить стеклянной палочкой, то никаких изменений не произойдёт, т. е. стекло не позволяет электрическому заряду передаваться от одного тела к другому. Вещества, по которым электрический заряд не может переходить от одного тела к другому, называют **диэлектриками** или **изоляторами**. К ним относят такие вещества, как пластмассы, резина, фарфор, стекло, янтарь, эбонит, все газы, дистиллированная вода и др.



Самым лучшим проводником среди металлов является серебро, следом за ним идёт медь. Медь значительно дешевле серебра, и именно она используется повсеместно в электрооборудовании. Тело человека также является проводником. Если коснуться заряженного предмета, например шара электрометра, рукой, то этот предмет разрядится. Через руку электрический заряд уйдёт в пол и стены комнаты. В подобных случаях принято говорить, что заряд «ушёл в землю».



ВОПРОСЫ:

- Как устроен электроскоп?
- Для чего применяют электрометры и электроскопы?
- Какие вещества называют проводниками?
- Какие вещества называют диэлектриками?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое электрический заряд и в каких единицах он измеряется.
- Как называют частицу с самым малым зарядом.
- Каковы заряд и масса электрона.

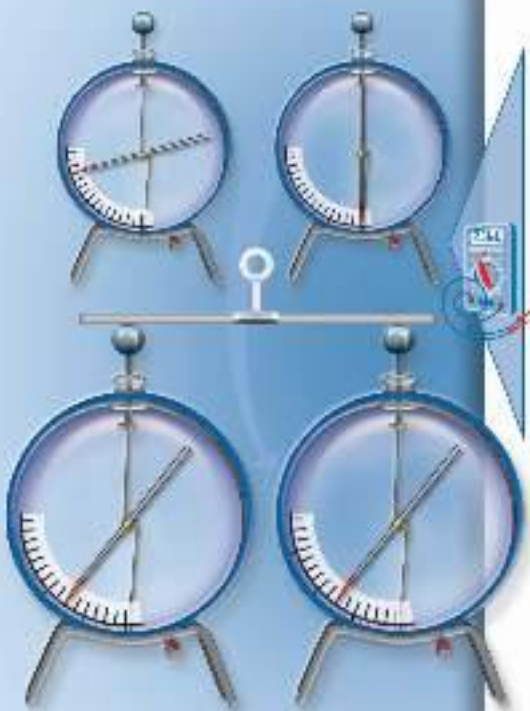
ВСПОМНИТЕ:

- Какие тела называют наэлектризованными?
- Какие два рода заряда существуют в природе?



Абрам Фёдорович Иоффе
(1880—1960)

Российский физик, «отец советской физики», академик, вице-президент Академии наук СССР.



ДЕЛИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА. ЭЛЕКТРОН

На предыдущих уроках мы рассмотрели явление электризации тел, а также ввели понятие заряда. Однако на вопрос «Что такое электрический заряд?» ответить не так просто.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД Электрический заряд — одно из фундаментальных понятий физики. Его невозможно объяснить через какие-то более простые понятия. Заряд мы не можем ни увидеть глазами, ни потрогать руками. Зато мы можем получить ответ на вопрос, обладает ли данное тело зарядом.

Наличие у тел электрического заряда означает их способность вступать во взаимодействие с другими заряженными телами. При этом заряд является количественной мерой способности тел к электрическим взаимодействиям. Именно поэтому для понимания природы электрического заряда надо изучать законы взаимодействия заряженных тел.

Попробуем провести аналогию с исследованием живой клетки. Мы можем за ней наблюдать при помощи микроскопа и изучать её взаимодействие с окружающим миром. Можно разделить её на составляющие и изучить, что у неё внутри. Но поняв, из чего состоит клетка, мы всё равно не сможем установить законы её жизнедеятельности. Именно поэтому для понимания природы живой клетки изучают законы её взаимодействия с окружающей средой. Мы не можем исследовать сам электрический заряд изнутри, но можем изучить его по тому, как он взаимодействует с другими телами.

ДЕЛИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА Если взять два одинаковых электромметра, один из которых заряжен, а другой нет, и соединить их металлическим стержнем, то часть заряда, а именно половина, перейдёт на незаряженный электромметр.

Уберём металлический проводник и коснёмся рукой одного из электромметров, и он полностью разрядится. Затем вновь соединим электромметры проводником. Теперь на каждом из электромметров останется четвертая часть первоначального заряда. Этот процесс деления заряда можно продолжать и далее. Существует ли предел подобного деления заряда? Ответ на этот вопрос дали российский физик А. Ф. Иоффе и американский физик Р. Милликен, проведя независимо более сложные и точные опыты.

ОПЫТЫ ИОФФЕ И МИЛЛИКЕНА. ЭЛЕКТРОН В своих опытах Иоффе и Милликен изучали движение малых частиц вещества (пылинки металла, мельчайшие капли масла)

в пространстве между двумя параллельными металлическими пластинами A и B , заряженными противоположными зарядами. Пространство между пластинами освещалось ультрафиолетовым излучением, под действием которого некоторые металлы, заряженные отрицательно, теряли часть своего заряда.

С помощью микроскопа Иоффе со своими сотрудниками наблюдал движение цинковых пылинок, заряженных отрицательно. Под действием силы тяжести пылинки Π начнут падать вниз. Однако силу тяжести F_t , действующую на пылинку, можно уравновесить, если пластину A зарядить положительно, а пластину B — отрицательно.

Электрическое взаимодействие между заряженными телами приводит к возникновению силы, называемой **электрической силой** $F_{эл}$.

Можно так подобрать заряд пластин, что будет выполняться равенство $F_t = F_{эл}$. По значениям силы тяжести и зарядов пластин вычислили заряд пылинки. Затем воздействовали на пылинку ультрафиолетовым излучением, уменьшая тем самым её заряд.

Пылинки снова начинала падать, поскольку в результате потери части заряда равенство $F_t = F_{эл}$ нарушалось. Изменяя заряды пластин, добивались равновесия пылинки, что позволяло вычислять её новый заряд. Изменение заряда пылинки повторялось несколько раз.



Как показали опыты, все изменения заряда оказались целыми кратными некоторой определённой величины, т. е. заряд пылинки изменялся порциями. На основании этого был сделан вывод, что в природе существует наименьшая порция электрического заряда, далее уже неделимая. Её принято называть **элементарным зарядом**.

Частицу — носитель этого элементарного заряда назвали **электроном**.

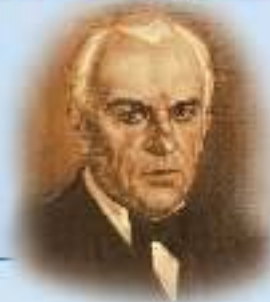
ЕДИНИЦА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА За единицу электрического заряда в СИ принят **кулон** (1 Кл). Эта единица названа в честь французского физика Шарля Кулона, открывшего основной закон взаимодействия электрических зарядов. Электрический заряд принято обозначать буквой q .

В СИ заряд электрона равен

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Масса электрона равна

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг.}$$



Роберт Милликен
(1868—1953)

Американский физик, получивший Нобелевскую премию по физике за работы по определению элементарного электрического заряда.



Шарль Огюстен Кулон
(1736—1806)

Французский физик, исследователь электромагнитных и механических явлений, член Парижской академии наук.

ВОПРОСЫ:

- В чём заключалось назначение опытов Иоффе и Милликена?
- Как называется частица, имеющая наименьший заряд?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Какие частицы входят в состав атома и в состав атомного ядра.
- Что такое положительные и отрицательные ионы.

ВСПОМНИТЕ:

- Из каких частиц состоят все вещества?
- Какие два рода заряда существуют в природе?
- Как называется частица, имеющая наименьший заряд?



Джозеф Джон Томсон
(1856—1940)

Английский физик, получивший Нобелевскую премию по физике за работы, которые привели к открытию электрона.



Эрнест Резерфорд
(1871—1937)

Английский физик, создал планетарную модель атома, лауреат Нобелевской премии по химии.

Вы уже знаете, что все тела в природе состоят из различных веществ, а вещество состоит из атомов и молекул. Тела, с которыми мы имеем дело в обыденной жизни, электрически нейтральны. Но тогда возникает вопрос: откуда появляются заряды при электризации тел? И почему одни тела заряжаются положительно, а другие — отрицательно?

ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТЕОРИИ СТРОЕНИЯ АТОМОВ

Древнегреческие философы-атомисты считали атом простейшей, не имеющей структуры частицей (от греч. *atomos* — неделимый). Если считать атомы неделимыми и не имеющими какой-либо внутренней структуры, то различия физических и химических свойств веществ можно объяснить только тем, что их атомы различаются массой и, возможно, размерами. В противном случае разнообразие свойств веществ может объясняться тем, что внутреннее строение атомов, из которых состоят вещества, неодинаково. Ответ на этот вопрос можно было получить только на основе эксперимента.

На рубеже XIX—XX вв. был накоплен значительный экспериментальный материал, свидетельствующий о сложном строении атома. В 1897 г. английский физик Дж. Дж. Томсон установил, что при нагревании ряда веществ и при освещении их ультрафиолетовым светом из атомов вылетают одинаковые отрицательно заряженные частицы — электроны.

МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ АТОМОВ. ОПЫТЫ РЕЗЕРФОРДА

Одну из первых моделей строения атома предложил в 1903 г. Дж. Дж. Томсон. Он предположил, что атом имеет форму шара, положительно заряженного по всему объёму, а отрицательно заряженные электроны находятся внутри его (так называемая «пудинговая» модель, где электроны уподобляются изюминкам, вкрапленным в тесто).

Для проверки существующих гипотез о строении атома в 1908—1911 гг. английский физик Э. Резерфорд и его сотрудники выполнили опыты по прохождению положительно заряженных частиц через тонкую металлическую фольгу. Это были частицы, которые испускают соли урана и радия. Они обладают положительным зарядом и массой, более чем в 7000 раз превышающей массу электрона, и их называют **альфа-частицами**.

Быстро летящие частицы проходили сквозь фольгу и, попадая на экран, покрытый специальным веществом,



вызывали вспышки, хорошо видимые в микроскоп. Оказалось, что большинство частиц свободно проходит сквозь фольгу, испытывая лишь незначительные отклонения. Однако в отдельных случаях (примерно в одном на 8000—10 000 частиц) наблюдалось отклонение альфа-частиц на угол больше 90° . Это казалось удивительным, поскольку столкновение альфа-частицы с лёгким электроном не могло так сильно изменить траекторию её движения.

Резерфорд предположил, что отражение альфа-частицы назад обусловлено её столкновением с другой положительно заряженной частицей, масса которой соизмерима с массой альфа-частицы. Эту частицу назвали **атомным ядром**. Практически вся масса атома сосредоточена в его ядре, диаметр которого в десятки тысяч раз меньше диаметра самого атома.

Согласно Резерфорду, атом устроен подобно Солнечной системе: в центре атома имеется положительно заряженное ядро, а на большом расстоянии от него движутся отрицательно заряженные электроны, как планеты вокруг Солнца. Эта модель строения атома была названа **планетарной (или ядерной) моделью**.

Опыты Резерфорда явились основой для развития современных представлений о строении атома. Здесь в первую очередь следует отметить великого датского физика Нильса Бора, который в 1913 г. заложил основы современной теории строения атома.

СТРОЕНИЕ ЯДРА АТОМА Более поздние опыты показали, что ядро атома также имеет сложное строение. Кроме положительно заряженных частиц, названных **протонами**, в его состав входят частицы, не имеющие электрического заряда, — **нейтроны**.

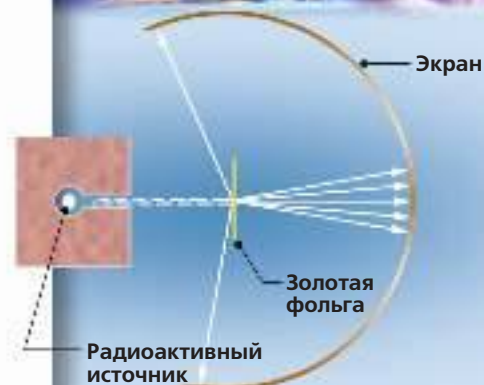
Атом в целом электрически нейтрален, потому что положительный заряд его ядра равен отрицательному заряду всех его электронов.

Атомы разных веществ отличаются друг от друга. Число протонов, нейтронов и электронов в атомах различных веществ может быть разным.

Например, самый простой из встречающихся в природе атомов — атом водорода — состоит из одного протона и вращающегося вокруг него электрона. Второй по сложности — атом гелия. В его ядре два протона и два нейтрона, а вокруг вращаются два электрона.

ИОНЫ Атом любого химического элемента содержит одинаковое число протонов и электронов, заряды которых равны по модулю.

Однако бывают ситуации, когда атом может потерять один или несколько электронов и стать **положительным ионом**. Но возможно и обратное: один или несколько электронов присоединяются к атому. В этом случае атом приобретает отрицательный заряд и становится **отрицательным ионом**.



Опыт Резерфорда



Планетарная модель строения атома



Нильс Хенрик Давид Бор
(1868—1953)

Датский физик, исследовал строение атомов и испускаемое ими излучение, лауреат Нобелевской премии по физике.

ВОПРОСЫ:

- В чём заключалась главная цель опытов Резерфорда?
- Какие частицы входят в состав атома и атомного ядра?
- Как образуются положительные и отрицательные ионы?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как осуществляется электризация тел при их соприкосновении.
- Как передаётся заряд от одного тела к другому.
- Почему одни тела являются проводниками электричества, а другие — не являются.
- Почему возникает притяжение между заряженными и незаряженными телами.
- Как формулируется закон сохранения заряда.

ВСПОМНИТЕ:

- Из каких частиц состоят все вещества?
- Какие два рода электрических зарядов существуют в природе?
- Как называют частицу с самым малым зарядом?



ПРИРОДА ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ТЕЛ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЗАРЯДА

В обычном состоянии тела, образованные из нейтральных молекул и атомов, являются незаряженными. Каким же образом тогда осуществляется электризация тел, каков её механизм?

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТРЕНИЕМ

Для того чтобы получить заряженные тела, т. е. наэлектризовать их, нужно отделить часть отрицательного заряда от связанного с ним заряда положительного.

Например, если провести расчёской несколько раз по сухим волосам, то некоторая часть самых подвижных заряженных частиц — электронов — перейдёт с волос на расчёску и зарядит её отрицательно. Волосы при этом зарядятся положительно.

Появление заряда на расчёске обнаруживается очень просто: она начинает притягивать лёгкие предметы (кусочки бумаги, пушинки и т. д.).

При электризации трением само по себе трение не является существенным. Оно лишь способствует более тесному контакту между разнородными веществами. При таком контакте часть электронов того вещества, у которого связь электронов с ядром атома относительно слаба, переходит на другое вещество.

Аналогичное явление происходит при натирании стеклянной палочки о шёлк: электроны со стекла переходят на шёлк, в результате чего стекло оказывается заряженным положительно, а шёлк — отрицательно. Заряды тел при этом равны: сколько электронов покинуло стекло, перенесённый совокупный отрицательный заряд на шёлк, столько же протонов образовало некомпенсированный положительный заряд на стекле.

Таким образом, при электризации заряды тел не создаются, они лишь перераспределяются между разнородными телами.

Но почему часть заряда переходит с наэлектризованного тела на незаряженное при их контакте?

Например, мы касаемся отрицательно заряженной расчёской бумажной гильзы, подвешенной на нити. Гильза также зарядится отрицательно и оттолкнётся от расчёски. Это происходит потому, что из-за взаимного отталкивания часть электронов с расчёски переходит на гильзу.

А как передаётся телу положительный заряд? Если прикоснуться к незаряженной гильзе стеклянной палочкой, заряженной положительно, то часть электронов с гильзы под действием сил притяжения перейдёт на палочку. В результате этого гильза зарядится положительно.

СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ Во всех случаях электризации тел *перемещаются только электроны*, а положительно заряженные ионы остаются в своём прежнем положении. Хорошая проводимость ряда веществ объясняется возможностью перемещения электронов. Например, в металлах имеется часть электронов, которые могут покидать свои атомы. Эти наиболее удалённые от ядра электроны называют *свободными электронами*. Диэлектрики не проводят электрический заряд, так как в них очень мало свободных электронов.

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ЧЕРЕЗ ВЛИЯНИЕ Проведём следующий опыт. Приблизим к незаряженному электроскопу положительно заряженную палочку. Мы увидим, что листочки электроскопа разошлись, т. е. на них появился одноимённый заряд. Поскольку электроскоп в целом остаётся незаряженным, то на его шарике возникает равный по величине заряд, но противоположного знака. Уберём палочку. Листочки при этом опадут — разделение заряда прекратится.

Суть данного явления заключается в следующем. Когда мы подносим к электроскопу положительно заряженное тело, то свободные электроны под действием притяжения заряда будут перемещаться по стержню и накапливаться на его шарике. Листочки электроскопа при этом зарядятся положительно.

Когда же к электроскопу приближается отрицательный заряд, электроны под действием отталкивания устремляются к нижнему концу стержня. В обоих случаях концы стержня электроскопа заряжаются противоположными по знаку зарядами.



Электризацию незаряженного тела, осуществляемую без непосредственного его контакта с заряженным телом, называют **электростатической индукцией** или **электризацией через влияние**.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЗАРЯДА Общее число электронов у тел, участвующих в процессе электризации, остаётся неизменным вследствие фундаментального закона природы — **закона сохранения заряда**. Он формулируется так: **алгебраическая сумма электрических зарядов тел остаётся постоянной**:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots = \text{const.}$$

Если одно тело при электризации приобретает положительный заряд, то второе тело приобретает равный по модулю отрицательный заряд.



ВОПРОСЫ:

- Почему при электризации трением заряды разнородных тел равны по величине, но противоположны по знаку?
- Как передаётся заряд гильзе с тела, наэлектризованного положительно?
- В чём заключается явление электростатической индукции?

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое электрическое поле.
- Каковы основные свойства электрического поля.
- Как можно графически изобразить электрическое поле.

ВСПОМНИТЕ:

- Как взаимодействуют заряженные тела?
- Как называют частицу — носитель электрического заряда?

Многочисленные опыты по притяжению или отталкиванию заряженных тел свидетельствуют о том, что электрически заряженные тела взаимодействуют на расстоянии. Но остаётся неясным вопрос о том, как именно одно заряженное тело воздействует на другое.

ОКАЗЫВАЕТ ЛИ ВЛИЯНИЕ ВОЗДУХ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ЗАРЯДАМИ

Мы вправе задать вопрос: нет ли между заряженными телами какой-либо материальной связи, например невидимых нитей или элементов среды, посредством которых осуществляется взаимодействие? Может быть, здесь главную роль играет воздух, находящийся между заряженными телами? Для проверки обратимся к опыту. Поместим под колокол воздушного насоса заряженный электроскоп и выкачаем из-под него воздух. В безвоздушном пространстве лепестки электроскопа отталкиваются так же, как и в воздушной среде. Следовательно, воздух не является посредником, осуществляющим взаимодействие между заряженными телами.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ Великий английский физик Майкл Фарадей впервые выдвинул идею, что электрически заряженные тела не действуют друг на друга непосредственно. Каждое из них создаёт в окружающем пространстве *электрическое поле*.



Понятие поля в современной физике занимает одно из центральных мест. *Электрическое поле — это особый вид материи, оно непрерывно в пространстве и оказывает воздействие на другие заряды.* По мере удаления от заряда, создающего поле, действие поля ослабевает.

Электрическое поле, как и электрический заряд, можно изучать через его взаимодействие с окружающими телами. Действие электрического поля можно обнаружить, если поместить в это поле какое-либо заряженное тело.

Окончательное развил идеи Фарадея и создал теорию электромагнитных явлений английский учёный Дж. Максвелл.



Идея прямого взаимодействия тел была впервые использована Ньютоном при формулировке закона всемирного тяготения. В учении об электричестве вначале также возникла теория прямого действия на расстоянии через пустоту (теория дальнего действия). Эксперименты подтвердили правильность гипотезы Фарадея, бывшего противником теории дальнего действия.



Майкл Фарадей
(1791—1867)

Английский физик и химик, основоположник учения об электромагнитном поле.

ПОНЯТИЕ ТОЧЕЧНОГО ЗАРЯДА Мы уже знаем, что носителем элементарного заряда является электрон. Он входит в состав атомов, из которых построены тела.

Проведём аналогию с задачей о движении тела, для удобства описания которого мы вводили понятие точки и далее говорили о траектории точки, скорости точки и т. п. При изучении электрических явлений и их описании вводится понятие *точечного заряда*, т. е., говоря о взаимодействии заряженных тел, мы будем рассматривать взаимодействие точечных зарядов.

Итак, *точечным зарядом называют заряженное тело, размерами которого можно пренебречь.*

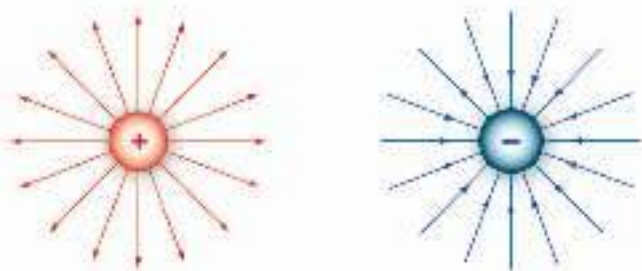
СИЛОВЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ Наши представления о свойствах электрического поля складываются на основе опытов по взаимодействию заряженных тел.

Главное свойство электрического поля — способность действовать на отдельные заряженные частицы (электроны, ионы, протоны) и на электрически заряженные тела с некоторой силой. Основные характеристики поля можно установить, изучив его действие на точечный (пробный) заряд.

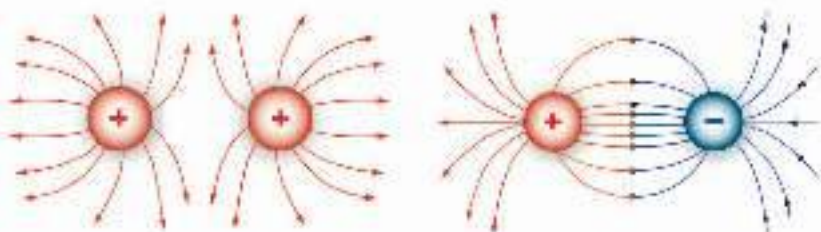
Для наглядности электрическое поле принято изображать при помощи так называемых *силовых линий*.

Силовые линии поля точечного заряда начинаются на положительном заряде и выходят из него. При этом каждая силовая линия заканчивается на отрицательном заряде.

Изображение электрического поля при помощи силовых линий позволяет наглядно представить степень воздействия поля на заряд: чем гуще силовые линии, тем сильнее поле действует на заряд.



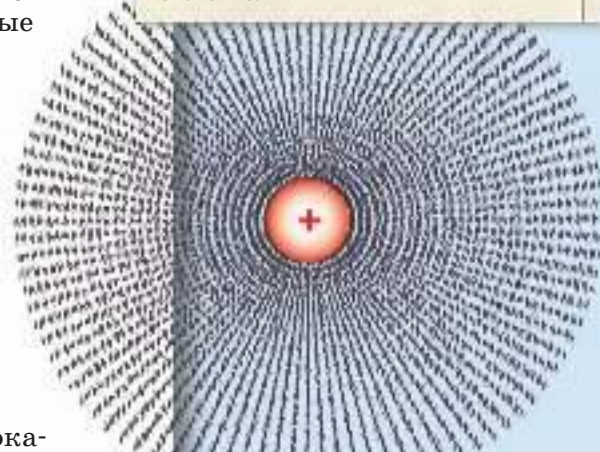
Силовые линии нигде не пересекаются. Это показано на примере поля двух одноимённых точечных зарядов и двух разноимённых.



Джеймс Клерк Максвелл
(1831—1879)

Английский физик, создатель классической электродинамики, один из основателей статистической физики.

Силовые линии электрического поля можно наблюдать на опыте. Если мелкие кусочки шерсти насыпать на стеклянную пластинку и поместить её над заряженным телом, то кусочки шерсти под действием электрического поля переориентируются. Они расположатся вдоль силовых линий электрического поля.



ВОПРОСЫ:

- Каковы основные свойства электрического поля?
- Что такое силовые линии электрического поля?
- Какое направление принято за направление силовых линий электрического поля?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как образуется молния.
- Как устроен громоотвод.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое электризация тел?
- Что такое электрическое поле?

На земном шаре одновременно происходит до 1800 гроз. В умеренных широтах грозы в среднем бывают 10—15 раз в год, у экватора на суше от 80 до 160 грозовых дней в году, над океаном грозы случаются реже, а в Арктике — одна в несколько лет.

Молния и гром происходят одновременно, но свет распространяется со скоростью 300 000 км/с, а скорость звука в воздухе 340 м/с. Поэтому мы сначала видим разряд — молнию, а звук разряда — гром — слышим спустя некоторое время. Зная время запаздывания грома, можно оценить, как далеко от наблюдателя произошёл разряд.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ

Вокруг нас происходит множество электрических явлений. Рассмотрим некоторые из них.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИРОДА МОЛНИИ Наиболее яркое электрическое атмосферное явление — **молния**.

Происхождение молнии объясняют следующим образом. Облака под действием ветра с большой скоростью проносятся над землёй и электризуются. При этом верхние и нижние слои облаков приобретают разноимённые заряды. Вокруг этих облаков возникает сильное электрическое поле. На ближайших к ним телах образуется электрический заряд противоположного знака. Такими телами могут являться другие облака, а также поверхность земли с находящимися на ней высокими телами.

Иногда два наэлектризованных облака приближаются друг к другу на достаточно близкое расстояние. Если при этом положительно заряженный слой облака приближается к отрицательно заряженному слою другого облака, то между ними происходит разряд — молния **а**, которая сопровождается громом.

Когда грозовая туча имеет отрицательный электрический заряд и проходит близко к поверхности земли, то создаваемое этим электрическим зарядом поле приводит к появлению в предметах на земле положительного электрического заряда. Между тучей и заряженными предметами может произойти разряд **б**.



Электрическая природа молнии была впервые раскрыта в 1752 г. американским учёным Бенджаминем Франклином. Во время грозы он запустил в облака воздушного змея. Как только верёвка, на которой был привязан змей, намочла от дождя, её растрепавшиеся волокна внезапно встали дыбом, указывая на то, что змей и нить зарядились. Находясь под навесом и придерживая нить, на которой был подвешен змей, Франклин осуществил опыт, который мог оказаться для учёного смертельным. Он приблизил палец к металлическому ключу, привязанному на мокром шнуре. Но ещё до того, как он коснулся пальцем ключа, из ключа в палец проскочили искры, произведя при этом треск.

Подобные опыты чрезвычайно опасны. Некоторые исследователи погибли во время таких экспериментов.

ГРОМООТВОД Во время своих опытов Франклин обнаружил, что металлическое остриё, соединённое с землёй, снимает электрические разряды с заряженных тел. Сконструированный им **молниеотвод**, или **громоотвод**, как его сейчас называют, был первым научно обоснованным устройством для защиты от молний.

Простейший громоотвод представляет собой заострённый металлический стержень, прикреплённый к зданию и поднятый над крышей. Он соединяется со всеми металлическими частями здания и с массивной металлической плитой, зарытой в землю, чем обеспечивается заземление громоотвода.

При разряде заряд по громоотводу уходит в землю и не приносит никакого вреда. Кроме того, наведённый тучей на здание электрический заряд уходит с громоотвода в землю, тем самым не только предохраняя здание от удара молнии, но и уменьшая вероятность её удара в данное здание.



В течение сотен лет моряки замечали, что во время гроз на верхушках корабельных мачт появляются странные огни, которые получили название огней святого Эльма. Моряки думали, что этими огнями их покровитель святой Эльм показывает, что они находятся под его опекой. Огни святого Эльма можно также наблюдать во время грозы на верхушках высоких зданий, на кончиках лопастей пропеллеров самолётов и т. п. Это явление наблюдается, когда в остроконечных частях предметов появляется большой электрический заряд.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В БЫТУ И ТЕХНИКЕ Электризация часто наблюдается и в быту. Разряды электричества возникают при ходьбе человека по полимерным покрытиям, синтетическим коврам, при снятии синтетической одежды, при расчёсывании волос пластмассовой расчёской и т. д.

В домашних условиях устранить заряды статического электричества можно, увлажняя воздух или используя антистатические препараты. На производстве человек также сталкивается с проблемой самопроизвольной электризации.

При трении о воздух электризуется самолёт, поэтому после посадки к нему нельзя сразу приставлять металлический трап: возникнет электрический разряд, который может вызвать пожар.

После посадки самолёт сначала «разряжают»: опускают на землю соединённый с обшивкой самолёта металлический трос, по которому заряд уходит в землю.

Молния чаще всего ударяет в возвышающиеся над уровнем земли объекты — колокольни, флагштоки, небоскрёбы, а также в одиночные деревья в полях и вершины холмов. Если молния попадает в металл, она его плавит. Попадая в песок, молния плавит и его. Попадая в дерево, молния расщепляет его, обугливает, а может и поджечь. Поэтому во время грозы нельзя прятаться от дождя под высокими деревьями. Попадая в строения, молния также может разрушить их и поджечь.



ВОПРОСЫ:

- Как образуется молния?
- Для чего применяют громоотвод?
- Какие примеры проявления электрических явлений в быту и технике вы можете привести?

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

ДЕЛИМОСТЬ

ЗАКОН
СОХРАНЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ЗАРЯДА

Элементы: Популярный сайт
о фундаментальной науке
<http://elementy.ru/>

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Тела, имеющие одноимённые электрические заряды, отталкиваются друг от друга. Тела, имеющие разноимённые заряды, притягиваются друг к другу.
- Наименьшую порцию электрического заряда, далее уже неделимую, называют элементарным зарядом. Частицу — носитель этого элементарного заряда называют электроном.
- Атом состоит из ядра и электронов. Атом в целом электрически нейтрален, потому что положительный заряд его ядра равен отрицательному заряду всех его электронов.
- Электризацию незаряженного тела, осуществляемую без непосредственного его контакта с заряженным телом, называют электростатической индукцией.
- Закон сохранения заряда формулируется так: алгебраическая сумма электрических зарядов тел остаётся постоянной.
- Электрическое поле — это особый вид материи, оно непрерывно в пространстве и оказывает воздействие на другие заряды. Для наглядности электрическое поле принято изображать при помощи так называемых силовых линий.



«ПОДРОБНЕЕ...»

Суорц К. Э. Необыкновенная физика обыкновенных явлений. Т. 2. — М.: Наука, 1987.

Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 2. Электричество и магнетизм. Термодинамика и квантовая механика. Физика ядра и элементарных частиц. — М.: Аванта+, 2000.

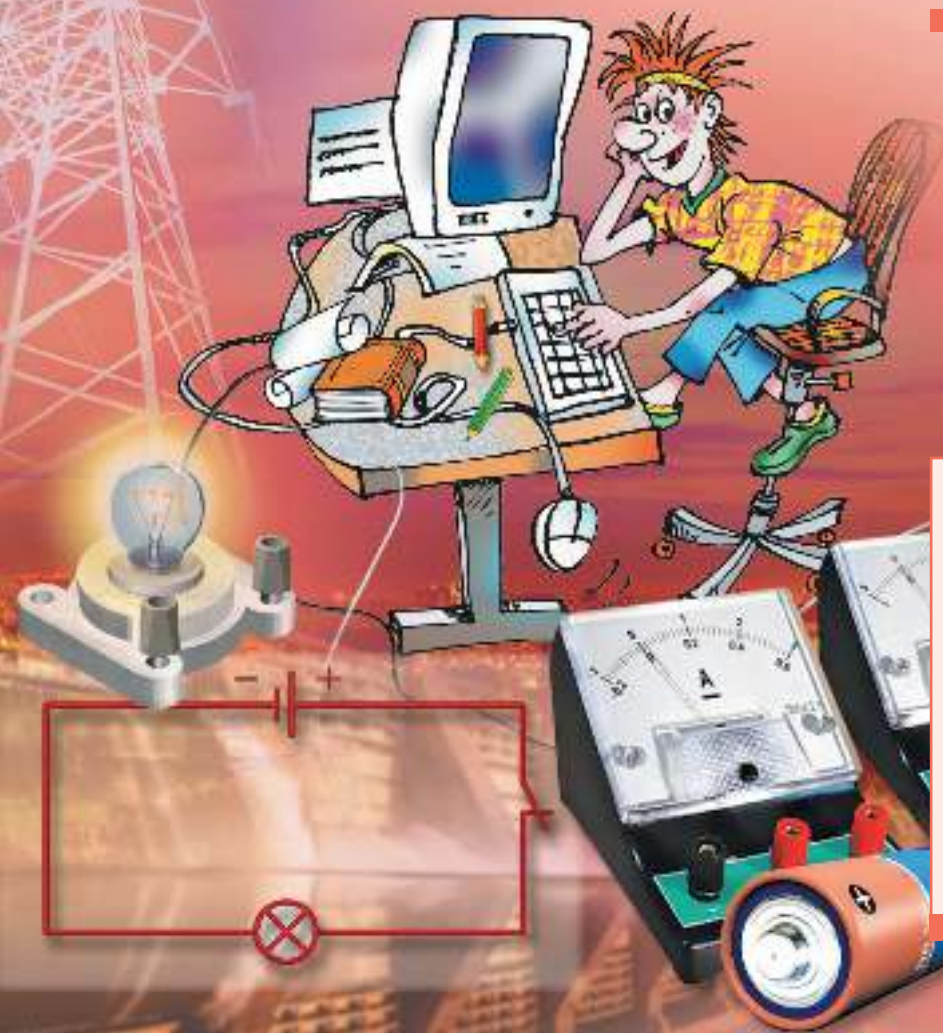
ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Можно ли с помощью незаряженного электроскопа определить знак заряда тела?
- Что произойдёт, если отрицательно заряженное тело заземлить?
- Как изготовить электроскоп в домашних условиях из подручных средств?
- Какими укрытиями нельзя пользоваться и какие действия нельзя совершать во время грозы?



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

- ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА
- ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ. АККУМУЛЯТОРЫ
- ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ
- ПРИМЕРЫ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА
- ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ. НАПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА
- СИЛА ТОКА
- ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ
- ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ
- ЗАКОН ОМА
- РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ



КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

Я уже давно убедился, что всё действие исходит от металлов, от соприкосновения которых электрическая жидкость входит во влажное или водянистое тело. На этом основании я считаю себя вправе приписать все новые электрические явления металлам и заменить название «животное электричество» выражением «металлическое электричество».

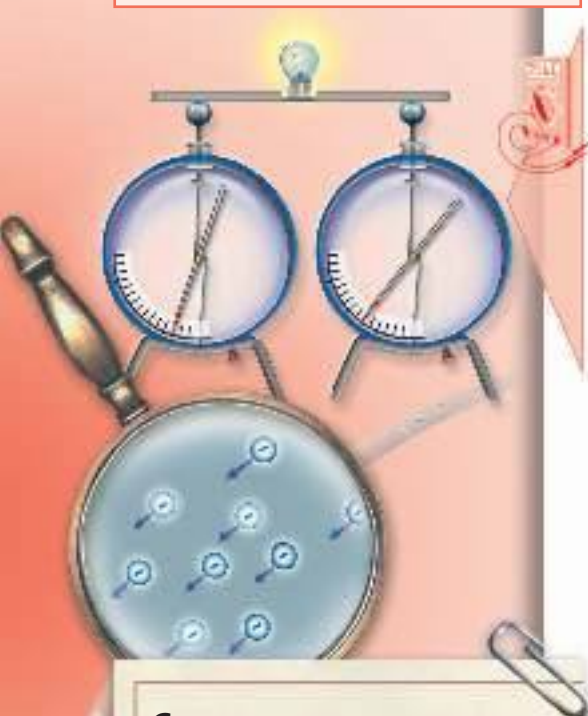
А. Вольта

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое электрический ток.
- Каковы условия существования электрического тока.
- Что такое источники тока.
- Какие преобразования энергии происходят в источниках тока.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое электрическое поле?
- Чем объясняется электризация тел?



Скорость упорядоченного движения электронов в проводнике под действием электрического поля мала — всего несколько миллиметров в секунду. Она в сотни миллионов раз меньше средней скорости теплового движения электронов. При такой скорости для перемещения электрона всего на 5 м понадобилось бы примерно 2 ч. Если мы повернём выключатель, лампа, находящаяся в нескольких десятках метров от него, сразу загорится. Отсюда следует, что скорость распространения тока и скорость упорядоченного движения электронов — это не одно и то же.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Наибольший практический интерес представляют явления, связанные с упорядоченным движением носителей электрических зарядов — электронов и ионов.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК Мы говорим, что электрический ток течёт от электростанций по проводам к нашим домам, благодаря ему зажигаются электрические лампочки, работает телевизор и другие электроприборы. Что означает термин «электрический ток» в физике?

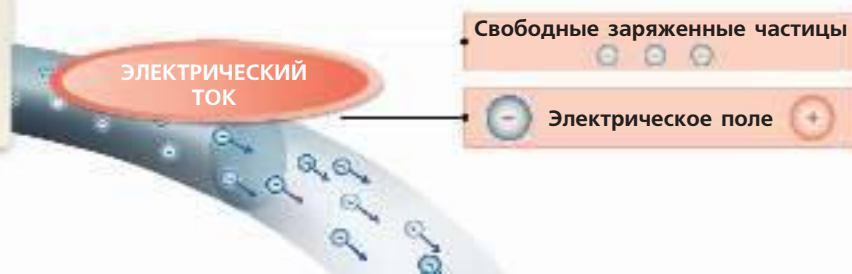
Зарядим один из двух одинаковых электрометров и соединим их металлическим стержнем, в который впаена лампочка. При соединении можно заметить кратковременную вспышку лампочки. Отклонение стрелки первого электрометра уменьшится, и стрелка второго электрометра отклонится на тот же угол, т. е. часть заряда с первого электрометра перейдёт на второй электрометр. Это означает, что по металлическому стержню прошёл электрический заряд. Говорят, что в металлическом стержне возник электрический ток.

Слово «ток» обозначает течение, а электрический ток — это течение заряда. Вы уже знаете, какие частицы обладают зарядом. В металлах имеются свободные электроны, а в растворах солей, кислот или щелочей — положительно и отрицательно заряженные ионы. Все эти частицы могут участвовать в создании электрического тока. Но сами по себе заряженные частицы не создают электрический ток. Если металлическим стержнем соединить два одинаково заряженных электрометра, то электрический ток в проводнике не возникнет и лампочка не загорится.



Чтобы в проводнике возник электрический ток, движение заряженных частиц должно быть *упорядоченным*. В соединительном проводнике свободные электроны перемещаются под действием электрического поля. Направленное перемещение электронов и создаёт электрический ток в проводнике.

Итак, **электрическим током** называется упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц под действием электрического поля.



ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Чтобы получить электрический ток в проводнике, необходимо привести заряженные частицы в направленное движение. Но как получить ток, который существовал бы длительное время?

Возьмём два заряженных тела *A* и *B*, заряды которых равны по модулю, но противоположны по знаку, и соединим их проводником. На отрицательно заряженном теле находится избыток электронов, на положительно заряженном теле — недостаток электронов.

Электроны с отрицательно заряженного тела будут двигаться по проводнику, притягиваясь к положительно заряженному телу. В проводнике на короткое время возникнет электрический ток. Он будет существовать до тех пор, пока не исчезнет электрическое поле в проводнике, т. е. пока не исчезнет заряд на телах *A* и *B*.

Для поддержания тока в проводнике необходимо, чтобы на одном конце проводника был недостаток электронов, а на другом — их избыток.

Процесс разделения зарядов осуществляют **источники электрического тока**.



В источнике тока благодаря химическим или иным процессам (в зависимости от принципа его действия) происходит разделение положительно и отрицательно заряженных частиц.

Эти разделённые частицы накапливаются на так называемых полюсах источника тока. При этом один из полюсов заряжается положительно, а другой — отрицательно.

Если полюсы источника тока соединить проводником, то свободные электроны будут перемещаться от отрицательного полюса к положительному. В проводнике возникнет электрический ток.

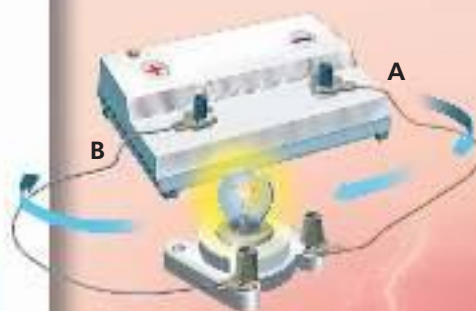
ЭЛЕКТРОФОРНАЯ МАШИНА

Электрофорная машина была создана в 1865 г. немецким физиком Августом Тёплером и независимо от него другим немецким физиком Вильгельмом Гольцем.

Машина Гольца позволяла накапливать большой заряд и могла использоваться в качестве источника тока.

Работа электрофорной машины основана на явлении электризации, позволяющей накапливать большой электрический заряд на её полюсах.

Уместно провести аналогию между действием источника тока и кровеносной системой нашего организма. Наше сердце не создаёт кровь, а лишь заставляет её двигаться по артериям и венам. Оно действует так же, как и источник тока. Источники тока не создают электрических зарядов, а лишь приводят уже имеющиеся свободные заряды в направленное движение.



ВОПРОСЫ:

- Что такое электрический ток?
- Какие условия необходимы для существования электрического тока?
- Что такое источники тока?
- Какие преобразования энергии происходят в источниках тока?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что представляет собой гальванический элемент.
- Как устроен аккумулятор.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое электрический ток?
- Что такое источник электрического тока?



Луиджи Гальвани
(1737—1798)

Итальянский врач, один из основателей учения об электричестве, основоположник экспериментальной электрофизиологии.



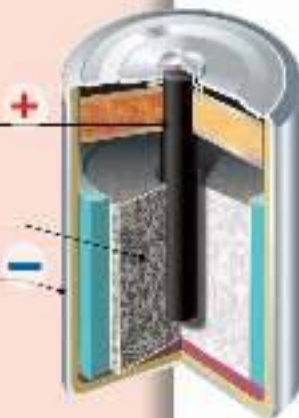
Элемент Вольты

Графитовый
стержень

Влажная паста
из NH_4Cl , MnO_2
и угля

Цинковый корпус

*Сухой
гальванический
элемент*



ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ. АККУМУЛЯТОРЫ

Для поддержания тока в проводнике необходимо электрическое поле: на концах проводника нужно постоянно создавать заряды противоположных знаков. На практике такое разделение зарядов обычно осуществляется за счёт химических реакций.

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В конце XVIII в. итальянский физик А. Вольта обнаружил, что при взаимодействии металла с кислотой происходит разделение зарядов. При этом металлическая пластинка, опущенная в раствор кислоты, электризуется отрицательно, а раствор — положительно.

Вольта построил первый химический источник тока, получивший название **гальванического элемента** (в честь другого итальянского учёного — Л. Гальвани).

Элемент Вольты состоит из цинковой и медной пластинок, опущенных в водный раствор серной кислоты. В результате химических реакций цинковая пластинка заряжается отрицательно, а раствор кислоты и медная пластинка — положительно. Внутри элемента образуется электрическое поле.

Если выводы пластин соединить проводником, то электроны под действием электрического поля начнут двигаться по проводнику, создавая в нём электрический ток. Выводы пластин образуют зажимы, которые называются полюсами.

Элемент Вольты как источник электричества является несовершенным — ток в цепи быстро ослабевает. Поэтому на практике большое распространение получили так называемые *сухие гальванические элементы*.

Элемент состоит из цинкового сосуда, в который помещён мешочек с двуокисью марганца (MnO_2), смешанного с углем. В этот мешочек вставлен угольный стержень, который является положительным полюсом элемента. Отрицательным полюсом является вывод от цинкового сосуда. Вместо раствора элемент содержит густую пасту, состоящую из муки, замешанной на нашатыре.

Обычная плоская батарейка для карманного фонаря состоит из трёх гальванических элементов. При этом угольный стержёнок первого элемента соединён с цинковым сосудом второго, а угольный стержёнок второго соединён соответственно с цинковым сосудом третьего элемента.

Все три элемента помещены в картонную коробку, которая сверху залита слоем изолятора (смолой). Две полоски жести, выведенные через слой изолятора, являются полюсами батареи.

АККУМУЛЯТОРЫ Срок службы всех гальванических элементов зависит от состояния их электродов (цинка и угля) и качества раствора. С течением времени электроды разрушаются, а качество раствора ухудшается.

Значительно более удобными источниками тока являются аккумуляторы — устройства, у которых электроды практически не разрушаются.

Простейший аккумулятор состоит из прочного сосуда (корпуса), в который залит раствор серной кислоты, и двух свинцовых пластин, опущенных в раствор.

Однако в таком состоянии аккумулятор ещё не будет являться источником тока и в нём необходимо накопить заряд. Для зарядки через аккумулятор пропускают ток от другого источника (зарядного устройства). После зарядки аккумулятор становится источником тока.

Кроме свинцовых (кислотных) аккумуляторов, широкое применение получили железо-никелевые (щелочные) аккумуляторы. Каждая из пластин в таком аккумуляторе (одна железная, а другая из окиси никеля) опущена в раствор едкой щёлочи.

В последние десятилетия наряду с традиционными источниками тока стали широко применяться источники, изготовленные на основе химического элемента лития. Эти источники устойчиво работают в широком диапазоне температур и обладают великолепным — порядка 10 лет и более — сроком службы.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ТОКА Химические источники тока широко применяются в разных областях. Например, аккумуляторы служат для освещения многих транспортных средств, в частности автомобилей, для запуска различных силовых установок, для питания научной аппаратуры и средств связи, устанавливаемых на искусственных спутниках Земли и межпланетных станциях, и т. п.

Широко используемые в настоящее время аккумуляторы для мобильных телефонов — ещё один пример устройств такого типа.

Впечатляет также разнообразие габаритов источников электричества: от миниатюрных батареек для питания ручных часов, лазерных указок, электронных секундомеров и т. д. до мощных аккумуляторных батарей, устанавливаемых на подводных лодках.



Вероятно, первыми гальваническими элементами были найденные при раскопках близ Багдада керамические сосуды, закрытые смоляной пробкой, через которую внутрь сосуда пропущены железные и медные стержни. По оценкам археологов, изготовление этих устройств датируется вторым-третьим тысячелетием до нашей эры. Поразительно и то, что эти устройства «заработали» после того, как в сосуды залили морскую воду.



Аккумуляторы

МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изготовьте самостоятельно «кухонный» гальванический элемент.

Оборудование:

- половинка лимона, разрезанного поперёк;
- кусочки медной и цинковой проволоки.

«ПОМОЩНИК»

- Разрежьте лимон так, чтобы сохранить перепонки, разделяющие дольки.
- В каждую дольку воткните попеременно кусочки медной и цинковой проволоки.
- От двух крайних проволочек сделайте выводы.
- Подумайте, какие опыты можно проделать с использованием этого элемента.



ВОПРОСЫ:

- Как устроен сухой гальванический элемент?
- Как устроен аккумулятор?
- Какие можно привести примеры использования аккумуляторов?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

● Что представляет собой электрический ток в металлах, электролитах и газах.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое электрический ток?
- Каковы условия существования электрического тока?

Неправильно думать, что электроны в электрическом поле движутся прямолинейно. Траектория их движения является сложной из-за взаимодействия с другими частицами. Движение электронов в этом случае напоминает дрейф льдин во время ледохода, когда они, двигаясь беспорядочно и сталкиваясь друг с другом, дрейфуют по течению реки.

В медной проволоке на каждый атом меди приходится в среднем один свободный электрон. В куске проволоки массой $m = 64$ г находится примерно $6 \cdot 10^{23}$ свободных электронов.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

Электрический ток может проходить через различные вещества: металлы, растворы и расплавы некоторых веществ и при определённых условиях через газы. Для возникновения электрического тока в какой-либо среде необходимо, чтобы в ней имелись заряженные частицы, которые будут перемещаться под действием электрического поля. Этими частицами могут быть как электроны, так и ионы.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ

Металлы в твёрдом состоянии имеют кристаллическое строение. Частицы в металлах располагаются в определённом порядке, образуя кристаллическую решётку. В узлах кристаллической решётки металла расположены положительные ионы, а в пространстве между ними хаотично движутся свободные электроны.

Если в металле создать электрическое поле, то свободные электроны начнут двигаться упорядоченно в направлении действия электрических сил. Возникнет электрический ток. Итак, **электрический ток в металлах представляет собой упорядоченное движение свободных электронов.**

Доказательство того, что ток в металлах создают именно свободные электроны, было получено в опытах, поставленных в 1913 г. российскими физиками Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси и в 1916 г. английскими физиками Р. Толменом и Т. Стюартом.

В основе этих опытов лежит предположение о том, что если металлический проводник привести в движение и резко затормозить, то свободные электроны должны по инерции продолжать движение относительно ионной решётки, подобно тому как отклоняются вперёд пассажиры при резком торможении автобуса. Следовательно, в проводнике должен возникнуть кратковременный электрический ток.

Для проведения подобного опыта на катушку наматывают проволоку, концы которой припаивают к двум металлическим дискам. Диски соединяют с чувствительным прибором, называемым гальванометром, который позволяет судить о наличии тока. Катушку приводят в быстрое вращение, а затем резко останавливают. Стрелка гальванометра при торможении катушки отклоняется, что говорит о возникновении кратковременного тока. По направлению отклонения стрелки и устанавливается, что ток создаётся движением именно *отрицательно* заряженных частиц.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЭЛЕКТРОЛИТАХ Растворы солей, кислот и щелочей также могут проводить электрический ток. Такие растворы называют растворами **электролитов**.

В сосуд с дистиллированной водой опустим два угольных электрода (стержня) и соединим их с источником тока, лампочкой и ключом. Между электродами возникает электрическое поле, но лампочка не горит. Это означает, что *дистиллированная вода не проводит электрический ток*. Но если растворить в воде какую-либо соль, например поваренную, то лампочка загорится. Это означает, что в растворе поваренной соли присутствуют свободные заряды, которые создают электрический ток. Что это за частицы?

При растворении в воде солей, кислот и щелочей нейтральные молекулы этих веществ распадаются на положительные и отрицательные ионы. Это явление называется *электролитической диссоциацией*.

Например, молекулы поваренной соли распадаются на положительный ион натрия и отрицательный ион хлора. Пока электрическое поле отсутствует, ионы совершают беспорядочное тепловое движение. Но в электрическом поле ионы, подобно электронам в металлах, начинают двигаться. Положительные ионы натрия в электрическом поле будут двигаться к электроду, соединённому с отрицательным полюсом источника тока. Такой электрод называют **катодом**. А отрицательные ионы хлора будут двигаться к электроду, соединённому с положительным полюсом источника тока. Такой электрод называют **анодом**.

Электрический ток в растворах (или расплавах) электролитов представляет собой перемещение ионов обоих знаков в противоположных направлениях.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ Укрепим две металлические пластины параллельно друг другу. Соединим одну со стержнем, а другую с корпусом электроскопа. Сообщим им разноимённые заряды.

Опыт показывает, что электроскоп не разряжается. Это означает, что воздух между пластинами не проводит электрический ток.

В обычных условиях газы являются хорошими изоляторами, так как они состоят из нейтральных атомов или молекул. В них нет свободных электрических зарядов, которые могут создавать электрический ток.

Если внести в пространство между пластинами пламя спички или спиртовки, то электроскоп быстро разрядится.

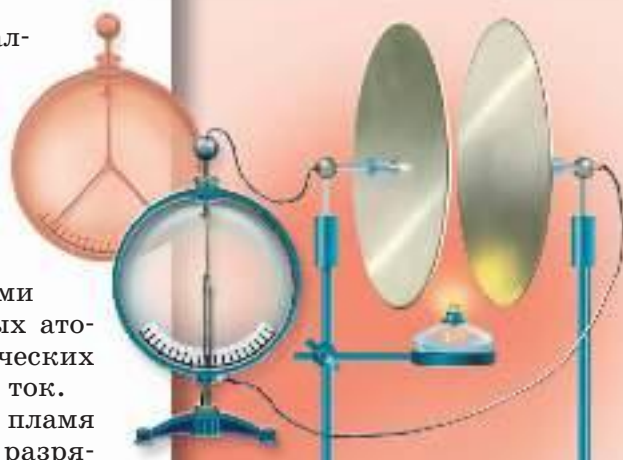
Этот опыт показывает, что под действием пламени газ может стать проводником электрического тока, потому что часть нейтральных атомов и молекул газа превращается в ионы. Электроны могут отрываться от атомов также под действием света.



При протекании электрического тока через растворы или расплавы электролитов на электродах выделяется чистое вещество. Этот процесс называют **электролизом**.

Электролиз широко используется в современной **электрометаллургии** — получении металлов путём электролиза. Например, весь алюминий в настоящее время получают электролитически. Хорошим примером также является электролитическое очищение (рафинирование) меди.

Посредством электролиза можно покрыть металлические предметы слоем другого металла. Этот процесс называется **гальваностегией**.



ВОПРОСЫ:

- Что представляет собой электрический ток в металлах, электролитах и газах?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

Какие примеры иллюстрируют различные действия электрического тока.

ВСПОМНИТЕ:

Что такое электрический ток?

ПРИМЕРЫ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Как известно, увидеть движущиеся заряды (электроны, ионы) мы не можем, так как они очень малы. Но как тогда можно обнаружить электрический ток?

ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

При протекании электрического тока могут происходить различные явления, которые называются действиями электрического тока.

**ТЕПЛОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА**

Электрический ток, протекая по проводам, вызывает их нагревание.

Присоединим к полюсам источника тока железную или никелевую проволоку. Замкнув ключ, можно наблюдать, как проволока провиснет, т. е. она нагреется и удлинится.

Таким образом её можно даже раскалить докрасна.

Именно на тепловом действии тока основана работа различных бытовых нагревательных приборов, таких, как электрический чайник, электрические плитки, утюги и др. Нить лампочки раскаляется и начинает светиться.

ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА

Как показывает опыт, на электродах, опущенных в раствор электролитов, происходит выделение чистого вещества. Этот процесс называется электролизом. Например, пропуская ток через раствор медного купороса, можно выделить чистую медь.

Электрический ток в металлах не вызывает никаких химических изменений. Химическое действие тока происходит только в растворах и расплавах электролитов.



МАГНИТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА

На большой железный гвоздь намотаем тонкий изолированный провод. Концы провода через ключ соединим с источником тока.

Если замкнуть ключ, то гвоздь намагнитится и будет притягивать к себе гвоздики, железные стружки, опилки. С прекращением тока в проводнике магнитные свойства гвоздя исчезнут.



Явление взаимодействия катушки с током и магнита лежит в основе работы прибора, называемого **гальванометром**.

С помощью гальванометра можно судить о наличии тока и его направлении. Стрелка прибора связана с подвижной катушкой. Когда в катушке появляется электрический ток, стрелка отклоняется.



МЕХАНИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА

Металлическую рамку соединим с источником тока. При пропускании электрического тока через рамку она остаётся висеть неподвижно. Но если эту рамку поместить между полюсами подковообразного магнита, то она начнёт поворачиваться.

В этом опыте мы наблюдали **механическое действие электрического тока**, которое заключается в том, что электрический ток при протекании по рамке, помещённой между полюсами магнита, вызывает её вращение.



Действия электрического тока на организм человека используют в медицине.

Дефибрилляторы используют для восстановления ритма сердечной деятельности путём воздействия на организм кратковременных высоковольтных электрических разрядов. При радикулите, невралгии и некоторых других заболеваниях применяют **гальванизацию**: через тело человека пропускают слабый электрический ток, который оказывает болеутоляющее действие и улучшает кровообращение.



Тело человека является проводником электрического тока, который, проходя через организм человека, может производить тепловое, химическое, механическое, биологическое и другое воздействие.

При тепловом действии происходит перегрев и функциональное расстройство органов на пути прохождения тока, возникают ожоги.

Химическое действие тока выражается в электролизе жидкости в тканях организма, в том числе крови, и нарушении её физико-химического состава.

Механическое действие связано с сильным сокращением мышц, вплоть до их разрыва.

Биологическое действие тока выражается в раздражении и перевозбуждении нервной системы.



ВОПРОСЫ:

- Какие действия электрического тока вы знаете?
- Какое действие на организм человека оказывает электрический ток?

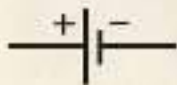
ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Из каких элементов состоит электрическая цепь.
- Какое направление принимают за направление электрического тока в цепи.

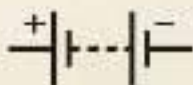
ВСПОМНИТЕ:

- Что такое электрический ток?
- Каковы условия существования электрического тока?
- Что такое источники тока?

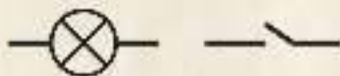
Чертежи, на которых изображают электрические цепи, называют **схемами**. Каждый элемент цепи изображают отдельным общепринятым символом:



Гальванический элемент или аккумулятор

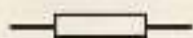


Батарея элементов или аккумуляторов

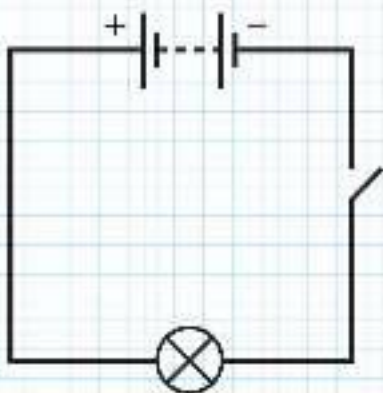


Лампа

Ключ



Резистор



ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ. НАПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

В отсутствие электрического поля свободные электроны в проводниках движутся беспорядочно. Если концы проводника (или провода) подсоединить к полюсам источника тока, то в проводнике возникнет электрический ток.

ПРОСТЕЙШИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

Чтобы заставить работать различные электрические приборы — электродвигатели, лампы, плитки и т. д., необходимо создать в них электрический ток. Электрические приборы называют **приёмниками** или **потребителями энергии**. Для того чтобы электрическую энергию доставить от источника тока к приёмнику, используют соединительные **провода**.

Чтобы регулировать процессы протекания электрического тока, включать и выключать потребители электрической энергии, применяются различные **приборы управления током**: ключи, рубильники, выключатели и другие замыкающие и размыкающие устройства.



Источник тока, потребители электрической энергии и приборы управления током, соединённые между собой проводами, составляют **электрическую цепь**. Для того чтобы в цепи существовал ток, она должна быть замкнута. Обрыв цепи или замена проводящего участка цепи изолятором приводит к прекращению прохождения тока.

Лампа

Источник тока

Провода

Ключ



Немецкий профессор Г. К. Лихтенберг из Гёттингена первый предложил ввести символы, обозначающие отдельные элементы электрических цепей. Он обосновал их практическое применение и использовал в своих работах. Благодаря ему математические знаки «+» и «-» стали использовать для обозначения электрических зарядов.

НАПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА До открытия электрона учёные предполагали, что по цепи движутся только положительные заряды. Поэтому общепринятым направлением электрического тока в цепи считается направление, в котором движутся (или могли бы двигаться) в проводнике положительные заряды, т. е. направление от положительного полюса источника тока к отрицательному. Но это не означает, что во всех проводниках движутся положительные заряды. В одних случаях в проводнике движутся только отрицательные заряды, в других случаях происходит движение зарядов обоих знаков в противоположных направлениях. Но определение направления тока было сделано в те времена, когда природа электрического тока не была до конца изучена.



При направленном движении заряженные частицы могут участвовать и в тепловом хаотическом движении. Характер движения частиц при протекании электрического тока можно сравнить с явлением конвекции в жидкостях и газах, при котором в направленных конвекционных потоках происходит беспорядочное движение молекул.



Понятия «электрический ток» и «направление электрического тока» были введены французским физиком Андре Мари Ампером. Именно он предложил принять за направление электрического тока то, в котором перемещается «положительное электричество».

Благодаря работам Ампера шаг за шагом выросла новая наука — электродинамика, основанная на экспериментах математической теории. В 1826 г. Ампер опубликовал труд, который назывался «Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта».

Ампер также ввёл в науку такие термины, как «электростатика», «электродинамика», «соленоид», «электродвижущая сила», «напряжение», «гальванометр» и даже «кибернетика». Он высказал предположение о том, что, вероятно, возникнет новая наука об общих закономерностях процессов управления, и предложил назвать её кибернетикой.

В металлических проводниках ток создаётся отрицательно заряженными частицами — электронами, которые движутся по цепи от отрицательного полюса источника тока к положительному. Направление тока и направление движения носителей заряда в этом случае противоположны.

МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Неоднородная электрическая цепь.

Оборудование:

- батарейка и лампочка для карманного фонаря;
- две полоски жести;
- два куска медной проволоки с зачищенными концами;
- соляной раствор;
- спички.



«ПОМОЩНИК»

- Соберите электрическую цепь, состоящую из батарейки, лампочки и двух полосок жести, разделённых воздушным промежутком в 1–3 мм.
- Введите в этот промежуток небольшое количество соляного раствора.
- Наблюдайте, как изменится характер свечения лампочки, если полоски жести осторожно смещать относительно друг друга.
- Нагрейте раствор с помощью горящей спички.
- Объясните изменения в характере свечения лампочки.

ВОПРОСЫ:

- Из каких элементов состоит электрическая цепь?
- Какое направление принимают за направление электрического тока в цепи?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое сила тока.
- Каковы единицы силы тока.
- Какой прибор используют для измерения силы тока в цепи.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое электрический ток?
- Какие основные элементы входят в электрическую цепь?

В качестве аналога электрического тока представьте себе движение машин по автострате.

Если автострада широкая, то автомобили движутся с большими скоростями, не мешая друг другу.

Если же на дороге появляется сужение, то скорость движения потока машин замедляется.

Если обозначить величины: сила тока — I , заряд — q , время — t , то заряд, прошедший через поперечное сечение проводника, рассчитывают по формуле

$$q = It.$$

Сила тока на всех участках проводника, по которому течёт ток, одинакова. Это следует из того, что заряд, проходящий через поперечное сечение проводников цепи, одинаков, т. е. он нигде не накапливается.

СИЛА ТОКА

О наличии электрического тока в цепи можно судить по одному из оказываемых им действий. Если лампочку подсоединить к источнику тока, то её нить накалится и она начнёт светиться. Но почему разные лампочки, подключённые к одному и тому же источнику тока, светят по-разному — одни более ярко, другие менее? От каких характеристик зависят действия электрического тока?

СВЯЗЬ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА С ЕГО ЗНАЧЕНИЕМ

Соберём цепь, состоящую из источника тока, лампочки и ключа. При замыкании ключа лампочка загорится. Если включить в цепь кусок стальной проволоки, лампочка будет гореть менее ярко. Если заменить стальную проволоку нихромовой, то свечение лампочки будет ещё более тусклым.



Опыт показывает, что включение в цепь дополнительного проводника приводит к ослаблению теплового действия тока. Выясним, от чего зависят действия электрического тока. Электрический ток — это упорядоченное движение заряженных частиц. Когда заряженная частица движется по электрической цепи, то вместе с ней происходит и перемещение заряда.

Чем больше электрический заряд, перенесённый частицами через поперечное сечение проводника за определённое время, тем интенсивнее действие тока.

СИЛА ТОКА

Для количественной характеристики электрического тока в цепи вводится понятие *силы тока*. Силу тока обозначают буквой I . **Сила тока** — это физическая величина, которая показывает, какой электрический заряд проходит через поперечное сечение проводника за единицу времени. Если за время t через поперечное сечение проводника проходит заряд q , то силу тока можно вычислить по формуле $I = q/t$.

ЕДИНИЦЫ СИЛЫ ТОКА

В 1948 г. на Международной конференции по мерам и весам было принято решение о том, что единица силы тока должна определяться через взаимодействие двух длинных линейных проводников с током.

Это явление можно наблюдать на опыте.

Два параллельных проводника подсоединили к источнику тока. Оказалось, что между проводниками действуют силы притяжения или отталкивания в зависимости от того, в каком направлении течёт ток по проводникам. Чем больше сила тока, тем сильнее взаимодействуют проводники.

Эту силу взаимодействия можно измерить. Кроме силы тока, она зависит ещё от длины проводников, расстояния между ними и среды, в которой они находятся. Проводники должны быть тонкими, очень длинными и находиться в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга. Тогда за **единицу силы тока** принимают силу тока, при которой два параллельных проводника длиной 1 м, находящихся в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга, взаимодействуют с силой $2 \cdot 10^{-7}$ Н (0,0000002 Н).

Единицу силы тока называют **ампером** (1 А) в честь французского учёного Ампера.

ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА

Прибор, с помощью которого измеряют силу тока в цепи, называют **амперметром**.

Работа амперметра основана на магнитном действии тока. Чем больше сила тока, проходящего по катушке, тем сильнее она взаимодействует с магнитом и тем больше угол поворота стрелки амперметра.

При *измерении силы тока* амперметр включается в цепь последовательно с тем прибором, силу тока в котором нужно измерить.

У каждой клеммы прибора стоит свой знак: «+» или «-».

Клемму со знаком «+» нужно соединить с проводом, идущим от положительного полюса источника тока, а клемму со знаком «-» — с проводом, идущим от отрицательного полюса источника тока.

На электрических схемах амперметр изображают в виде кружка с буквой А.



Андре Мари Ампер
(1775—1836)

Французский физик, знаменитый математик и естествоиспытатель, один из основоположников электродинамики.



Насколько велико значение силы тока, равное **1 А**?
Для человека безопасной считается сила тока до 1 мА. В бытовой электрической сети обычной является сила тока до 6 А (такой ток протекает по спирали обычной электролампочки).

ВОПРОСЫ:

- Что называют силой тока в цепи?
- Какая единица принята за единицу силы тока?
- Как называют прибор для измерения силы тока?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое напряжение.
- Каковы единицы напряжения.
- Какой прибор используют для измерения напряжения в цепи.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое электрическое поле?
- Что такое электрическая сила?
- Что такое электрический ток?

Поскольку действие тока зависит от силы тока в цепи, значит, его работа также должна зависеть от силы тока или от перемещённого заряда.

Нетрудно представить, что электрический ток подобен потоку воды в шланге. Если удерживать оба конца шланга на одном уровне, то никакого течения воды не будет. Если же один из концов опустить вниз, то вода потечёт с более высокого уровня на низкий. Разность уровней воды аналогична напряжению источника тока. Чем выше напряжение (чем больше разница в уровнях воды), тем больше сила тока в цепи (тем быстрее движется вода в шланге).

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

При подключении лампочки (или какого-либо другого потребителя) к источнику тока в цепи возникает электрическое поле. Оно действует на заряженные частицы с некоторой электрической силой, под действием которой начинается их упорядоченное движение. Возникает электрический ток. При этом при движении зарядов в электрическом поле совершается определённая работа.

РАБОТА ТОКА

Пусть под действием электрической силы $\vec{F}_{эл}$ частица с зарядом q переместилась по проводнику из одной точки в другую. Говорят, что при этом электрическая сила $\vec{F}_{эл}$ совершила некоторую работу $A_{эл}$.



В механике мы говорили о том, что механическая работа совершается тогда, когда тело под действием некоторой силы перемещается. При рассмотрении электрических явлений также вводится понятие работы, но здесь речь идёт уже о перемещении электрического заряда. Электрическая сила, действующая на заряд, возникает только при наличии электрического поля.

Работу электрического поля, создающего электрический ток, называют работой тока.

Понятие работы в физике неразрывно связано с понятием энергии. При совершении работы всегда происходят изменения и превращения энергии. Изученные ранее действия электрического тока на самом деле обусловлены работой тока. При этом происходит превращение энергии движущихся зарядов в другие виды энергии.

Соберём две электрические цепи, содержащие одинаковые по назначению элементы. В первой цепи потребителем электрической энергии является лампочка от карманного фонаря, а в качестве источника тока используется обычная батарейка. Во второй цепи потребитель — бытовая осветительная лампа, подключённая к аккумулятору. Амперметры, включённые в эти цепи, показывают одинаковую силу тока. Но одинаковым ли будет при этом действие тока в каждой цепи? Опыт показывает: лампа, включённая в цепь, источником тока которой является аккумулятор, даёт гораздо больше тепла и света, чем лампочка от карманного фонаря.



Поскольку при одной и той же силе тока его тепловое действие было различным, значит, и работа тока в этих цепях различна. Следовательно, работа тока зависит также от другой его характеристики.

Эту новую физическую величину называют **электрическим напряжением**. Напряжение, которое создаёт батарейка, значительно меньше напряжения аккумулятора. Именно поэтому при одной и той же силе тока лампа, соединённая с батарейкой, даёт меньше света и тепла.

НАПРЯЖЕНИЕ Напряжение показывает, *какую работу совершает электрическое поле при перемещении единичного электрического заряда из одной точки в другую*, и обозначают буквой U .

Напряжение равно отношению работы электрических сил $A_{эл}$ к заряду q , который перемещается из одной точки в другую:

$$U = A_{эл}/q.$$

ЕДИНИЦЫ НАПРЯЖЕНИЯ Единица электрического напряжения называют **вольт**ом в честь итальянского учёного Алессандро Вольта, создавшего первый гальванический элемент.

За *единицу напряжения* принимают такое электрическое напряжение на концах проводника, при котором работа по перемещению электрического заряда в 1 Кл по этому проводнику равна 1 Дж:

$$1 \text{ В} = 1 \text{ Дж/Кл}.$$

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ Прибор, с помощью которого измеряют напряжение на полюсах источника тока или на каком-либо участке цепи, называют **вольтметром**. По внешнему виду и устройству вольтметр очень похож на гальванометр и амперметр. На шкале вольтметра ставят букву V .

При *измерении напряжения* зажимы вольтметра подключают к тем точкам цепи, между которыми надо измерить напряжение. Как и у амперметра, у одного зажима вольтметра ставят знак «+», у другого — «-».

Клемму со знаком «+» нужно соединить с проводом, идущим от положительного полюса источника тока, а клемму со знаком «-» — с проводом, идущим от отрицательного полюса источника тока.

На электрических схемах вольтметр изображают в виде кружка с буквой V .



Если обозначить величины: напряжение — U , заряд — q , работу тока — A , то напряжение рассчитывают по формуле

$$U = A/q.$$



Алессандро Вольта
(1745—1827)

Итальянский физик, химик и физиолог, один из основоположников учения об электричестве.

Для человеческого организма напряжение в 1 В неопасно. Безопасным для человека считается напряжение до 12 В. Однако надо иметь в виду, что величина напряжения, опасного для человека, зависит ещё и от внешних условий. Например, в сырых помещениях степень опасности существенно возрастает. Происходит это потому, что многие вещества, являющиеся в сухом состоянии изоляторами, во влажном состоянии становятся проводниками электричества. Дело в том, что обычная (недистиллированная) вода является проводником.

ВОПРОСЫ:

- Что показывает напряжение?
- Какая единица принята за единицу напряжения?
- Как называют прибор для измерения напряжения?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое сопротивление.
- Каковы единицы сопротивления.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое электрический ток?



Никель



Железо



Медь

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Если включать в цепь различные проводники, то сила тока будет различной. Выясним, почему так происходит.

ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ТОКА ОТ ВИДА ПРОВОДНИКА, ВКЛЮЧЁННОГО В ЦЕПЬ

Соберём цепь, состоящую из источника тока, ключа, лампочки, и амперметра. Будем последовательно подсоединять проводники одинакового размера, но сделанные из различных материалов (например, железа, меди и никеля). При этом можно видеть, что показания амперметра и свечение лампочки при включении различных проводников изменяются. Так, свечение лампочки и сила тока при подключении железного проводника больше, чем при включении никелевого, но меньше, чем при подключении медного.

ПРИЧИНА СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ТОКУ

Опыт показал, что при включение в цепь одного и того же источника сила тока зависит от свойств проводников, включённых в эту цепь. Это означает, что разные проводники оказывают различное противодействие, или сопротивление, току. Это сопротивление возникает из-за взаимодействия движущихся электронов с положительными ионами кристаллической решётки металла. Соответственно уменьшается и переносимый электронами за 1 с заряд, т. е. уменьшается сила тока.

Вместе с тем в результате взаимодействия с электронами усиливается беспорядочное колебательное движение ионов. Это приводит к увеличению температуры проводника. Следовательно, энергия движущихся зарядов превращается во внутреннюю энергию проводника.

Разные проводники обладают различным сопротивлением электрическому току из-за особенностей в строении их кристаллической решётки.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Рассмотренные выше опыты по зависимости силы тока в цепи от свойств проводников касались только металлов. Эта зависимость остаётся справедливой и для проводников другой природы, например электролитов.



Причиной сопротивления проводников электрическому току является взаимодействие движущихся электронов и ионов кристаллической решётки.

Чтобы убедиться в этом, воспользуемся приведённой выше цепью. Только теперь вместо проводника в цепь включим сосуд для электролиза, который будем поочерёдно заполнять слабым водным раствором обычной соли, 10-процентным раствором медного купороса и 20-процентным раствором медного купороса.

Как свидетельствует опыт, в случае заполнения сосуда 20-процентным раствором медного купороса в начале наблюдения мы видим более яркое свечение лампочки, чем в случае заполнения 10-процентным раствором медного купороса или слабым соляным раствором. При этом более яркому свечению лампочки соответствуют большие показания амперметра.

Раствор медного купороса



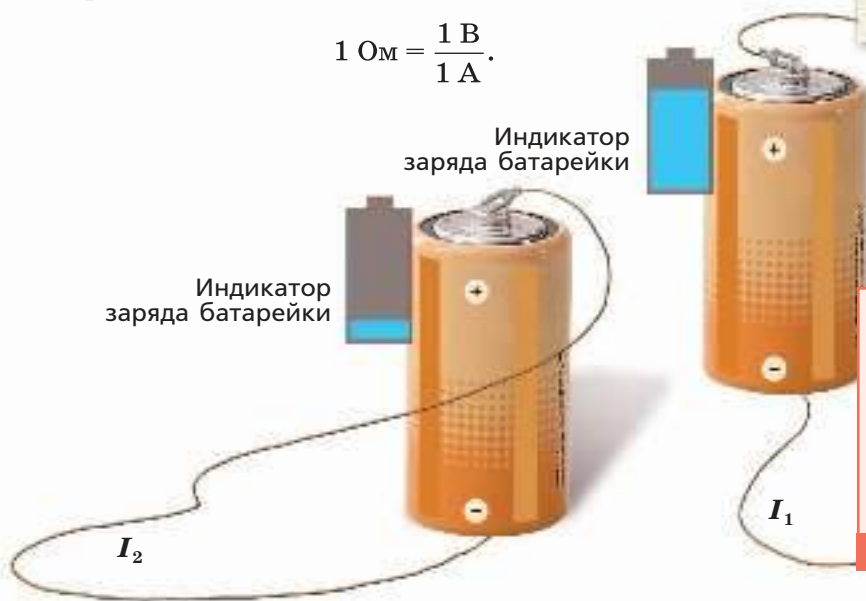
Раствор медного купороса



ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ Физическую величину, характеризующую способность проводника препятствовать протеканию электрического тока в этом проводнике, называют **электрическим сопротивлением**. Сопротивление обозначают буквой R .

Единицу сопротивления называют *ом* (1 Ом) в честь немецкого учёного Георга Ома, который впервые ввёл это понятие. 1 Ом — это сопротивление такого проводника, в котором при напряжении на концах 1 В сила тока равна 1 А:

$$1 \text{ Ом} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}}.$$



Лампочка обладает более высоким сопротивлением электрическому току, чем проволока. Поэтому электрический ток в проволоке больше, чем в лампочке. Если к батарейке подсоединить лампочку, то батарейка разрядится не так быстро, как если бы к ней подсоединили обычный проводник.

ВОПРОСЫ:

- Что такое электрическое сопротивление?
- В чём причина сопротивления проводников электрическому току?
- Что принимают за единицу сопротивления?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как сила тока зависит от напряжения.
- Как сила тока зависит от сопротивления.
- Как формулируется закон Ома.

ВСПОМНИТЕ:

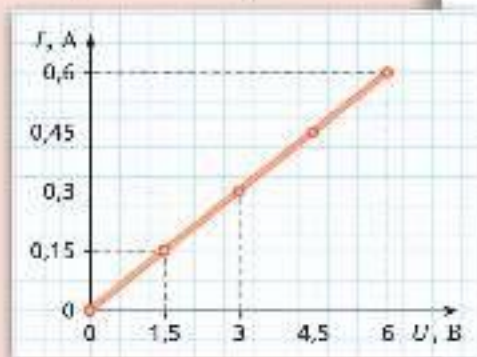
- Что такое сила тока?
- Что такое напряжение?
- Что такое сопротивление?



Георг Симон Ом
(1787—1854)

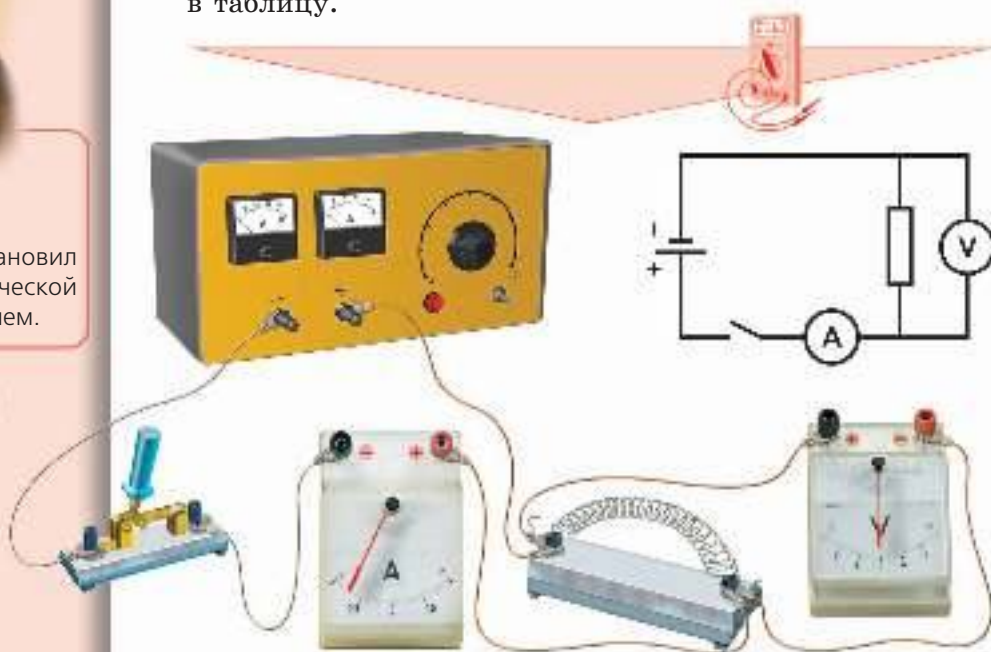
Немецкий физик, установил основной закон электрической цепи, названный его именем.

$U, \text{В}$	$I, \text{А}$
1,5	0,15
3	0,3
4,5	0,45
6	0,6

**ЗАКОН ОМА**

Мы изучили три физические величины, характеризующие протекание электрического тока в цепи: силу тока, напряжение и сопротивление. Возникает вопрос, как эти три величины связаны между собой. На этот вопрос ответил немецкий учёный Г. Ом, сформулировав в 1827 г свой знаменитый закон, который носит его имя.

ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ТОКА ОТ НАПЯЖЕНИЯ Экспериментально установим, каково соотношение между силой тока и напряжением при неизменном сопротивлении цепи. Соберём электрическую цепь, состоящую из источника тока, резистора, ключа, амперметра и вольтметра. В качестве источника тока будем использовать устройство, которое позволяет изменять выходное напряжение от 0 до 15 В. После каждого изменения напряжения будем снимать показания приборов и записывать их в таблицу.



Опыт показывает, что во сколько раз увеличивается напряжение на участке цепи, во столько же раз увеличивается и сила тока на этом участке, т. е. сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на концах этого проводника:

$$I \sim U.$$

Построим график зависимости силы тока от напряжения, используя в качестве значений данные из таблицы. Этот график представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат.

График зависимости силы тока от напряжения называется *вольт-амперной характеристикой цепи*.

ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ТОКА ОТ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Проверим, как зависит сила тока в цепи от сопротивления при постоянном напряжении в цепи.

В той же электрической цепи будем поддерживать постоянное напряжение, равное 4,5 В. Но вместо одного сопротивления используем магазин сопротивлений. Для каждого сопротивления измерим силу тока в цепи и данные запишем в таблицу.

Если по данным таблицы построить график зависимости силы тока от сопротивления, то он уже не будет прямой линией. Кривая, проведённая по экспериментальным точкам, представляет собой гиперболу.

Итак, опыт показывает, что, чем больше сопротивление проводника, тем меньше сила тока при одном и том же напряжении между концами проводника. Поэтому сила тока в проводнике обратно пропорциональна сопротивлению проводника:

$$I \sim \frac{1}{R}.$$

ЗАКОН ОМА Обобщая результаты обоих опытов, можно утверждать, что **сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна сопротивлению**. Это утверждение называется *законом Ома* для участка цепи и записывается следующим образом:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Закон Ома справедлив только для проводников, у которых сопротивление не зависит от приложенного напряжения и силы тока. К таким проводникам относят металлические проводники, уголь и электролиты. Сопротивление газов зависит от приложенного напряжения, и потому для газов закон Ома не выполняется.



Любопытно, что открытие закона Ома предвосхитил богатый английский лорд Генрих Кавендиш, который занимался физикой и химией в качестве хобби.

Кавендиш опубликовал всего 18 научных работ, однако гораздо большее их число так и осталось неизвестными современникам. Блестящие эксперименты Кавендиша с электричеством, проведённые в домашней лаборатории, стали известны только после публикации в 1879 г. Дж. Максвеллом его избранных работ.



$R, \text{ Ом}$

$I, \text{ А}$

3

1,5

5

0,9

10

0,45

20

0,23



Если обозначить величины: силу тока — I , напряжение — U , сопротивление — R , то силу тока на участке цепи рассчитывают по формуле

$$I = U/R.$$

Эта формула выражает **закон Ома**.



Генри Кавендиш
(1731—1810)
Английский физик.

ВОПРОСЫ:

- Как сила тока зависит от напряжения?
- Как сила тока зависит от сопротивления?
- Как формулируется закон Ома?

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как решать задачи на нахождение силы тока в цепи.
- Как решать задачи на нахождение напряжения в цепи.
- Как решать задачи на закон Ома.



ЗАДАЧА 1 Через нить накаливания лампочки от карманного фонарика за 2 мин проходит электрический заряд, равный 30 Кл. Определите силу тока в этой лампочке.

Запишем условие задачи и решим её.

3

Дано:	СИ	Решение:
$q = 30 \text{ Кл}$	120 с	Сила тока I определяется по формуле
$t = 2 \text{ мин}$		$I = \frac{q}{t},$
$I — ?$		$I = \frac{30 \text{ Кл}}{120 \text{ с}} = 0,25 \text{ А} = 250 \text{ мА}.$

Ответ: $I = 250 \text{ мА}.$

ЗАДАЧА 2 Электродвигатель включён в электрическую цепь с напряжением 24 В. Определите заряд, прошедший через электродвигатель, если при этом была совершена работа, равная 84 кДж.

Запишем условие задачи и решим её.

3

Дано:	СИ
$U = 24 \text{ В}$	84 000 Дж
$A = 84 \text{ кДж}$	
$q — ?$	

Решение:

Напряжение на электродвигателе определяется по формуле

$$U = \frac{A}{q} \rightarrow q = \frac{A}{U},$$

$$q = \frac{84\,000 \text{ Дж}}{24 \text{ В}} = 3500 \text{ Кл}.$$

Ответ: $q = 3500 \text{ Кл}.$

ЗАДАЧА 3 Определите силу тока в кипятильнике, включённом в сеть с напряжением 220 В, если сопротивление спирали составляет 55 Ом.

Запишем условие задачи и решим её.

3

Дано:	Решение:
$U = 220 \text{ В}$	Силу тока в кипятильнике можно определить, воспользовавшись законом Ома:
$R = 55 \text{ Ом}$	
$I — ?$	
	$I = \frac{U}{R} = \frac{220 \text{ В}}{55 \text{ Ом}} = 4 \text{ А}.$

Ответ: $I = 4 \text{ А}.$



ЗАДАЧА 4 Какое напряжение нужно приложить к концам проводника сопротивлением 5 Ом, чтобы по проводнику пошёл ток с силой тока, равной 300 мА?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	СИ
$R = 5 \text{ Ом}$	
$I = 300 \text{ мА}$	$0,3 \text{ А}$
$U = ?$	

Решение:

Необходимое напряжение можно определить, воспользовавшись законом Ома:

$$I = \frac{U}{R} \rightarrow U = IR,$$

$$U = 0,3 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 1,5 \text{ В}.$$

Ответ: $U = 1,5 \text{ В}$.

ЗАДАЧА 5 Определите сопротивление резистора, если за время 10 мин через него проходит заряд 200 Кл. Напряжение на концах резистора равно 6 В.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	СИ
$t = 10 \text{ мин}$	
$q = 200 \text{ Кл}$	600 с
$U = 6 \text{ В}$	
$R = ?$	

Решение:

Сопротивление резистора можно определить, воспользовавшись законом Ома:

$$I = \frac{U}{R} \rightarrow R = \frac{U}{I}.$$

Поскольку значение силы тока I не задано по условию задачи, его можно определить по формуле

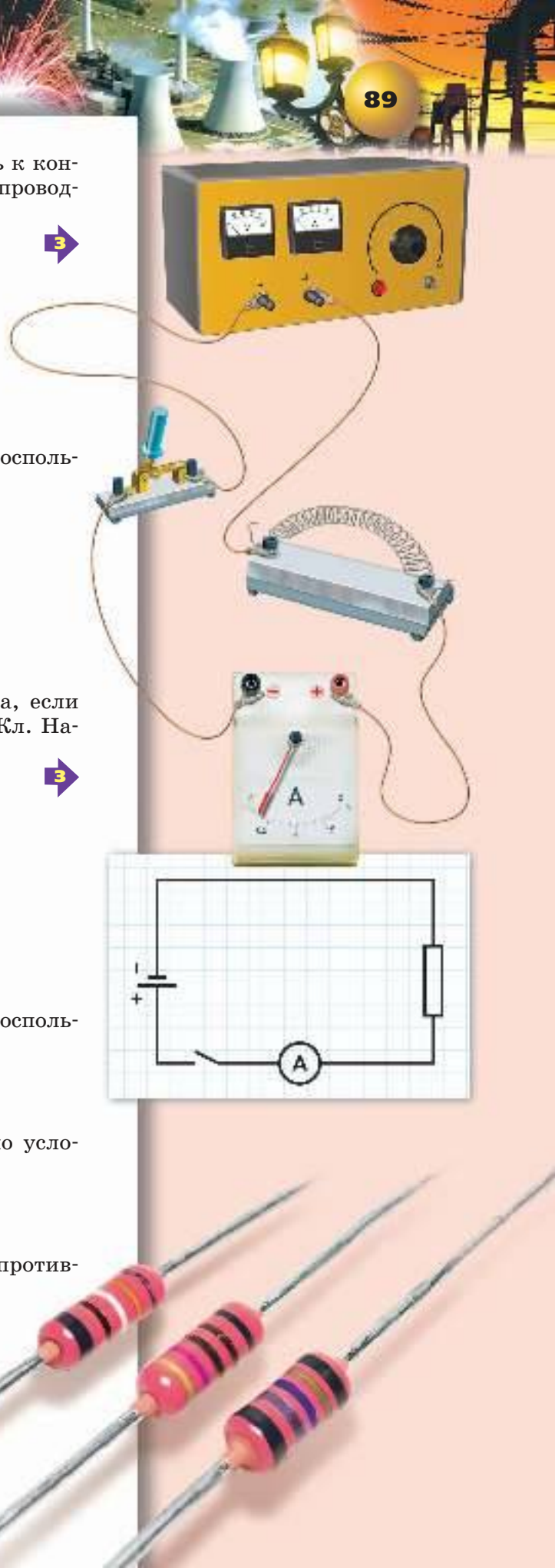
$$I = \frac{q}{t}.$$

Подставив формулу силы тока в формулу сопротивления, получим

$$R = \frac{Ut}{q},$$

$$R = \frac{6 \text{ В} \cdot 600 \text{ с}}{200 \text{ Кл}} = 18 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R = 18 \text{ Ом}$.



$$\begin{matrix} A \\ U \\ q \end{matrix}$$

НАПРЯЖЕНИЕ



СОПРОТИВЛЕНИЕ

$$\begin{matrix} U \\ R \\ I \end{matrix}$$


Международный
научно-образовательный
интернет-журнал
для школьников
<http://oscteam.com/>

Музей науки в Бостоне
<http://www.mos.org/>

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Электрическим током называют упорядоченное движение заряженных частиц под действием электрического поля.
- Сила тока — это физическая величина, которая показывает, какой электрический заряд проходит через поперечное сечение проводника за единицу времени.
- Работу электрического поля, создающего электрический ток, называют работой тока.
- Напряжение показывает, какую работу совершает электрическое поле при перемещении единичного электрического заряда из одной точки поля в другую.
- Электрическое сопротивление характеризует свойство проводника препятствовать протеканию в нём электрического тока.
- Закон Ома гласит: сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна сопротивлению.



«ПОДРОБНЕЕ...»

Беркинблит М. Б., Глаголева Е. Г. Электричество в живых организмах. Библиотечка «Квант». Вып. 69. — М.: Наука, 1988.

Суорц К. Э. Необыкновенная физика обычных явлений. Т. 2. — М.: Наука, 1987.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- В чём состоит принципиальное различие между гальваническим элементом и аккумулятором?
- Изменится ли форма записи закона Ома, если за направление тока в цепи принять направление движения отрицательно заряженных частиц?
- Почему возникает опасность поражения током при пользовании неисправными электроприборами?



РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

- РАСЧЁТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА
- ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ
- СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ И ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРОВОДНИКОВ
- РАБОТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. ЗАКОН ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА
- МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА
- ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ
- РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ



КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

...Подобно тому как посредством теплоты может быть произведена механическая работа, электрический ток способен вызывать частично механическое действие, частично теплоту.

Р. Клаузиус

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- От каких параметров зависит сопротивление проводника.
- Что такое удельное сопротивление проводника.
- Для чего используют реостаты.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое электрическое сопротивление и каковы его единицы?
- В чём состоит закон Ома?

РАСЧЁТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

Опыты показывают, что разные проводники обладают разным сопротивлением. С какими свойствами нужно выбрать проводник, чтобы при заданном значении напряжения обеспечить необходимую силу тока в цепи?

ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

ОТ ЕГО ДЛИНЫ

В цепь, состоящую из источника тока, лампочки, амперметра и ключа, включён проводник в виде нихромовой проволоки длиной 1 м и площадью поперечного сечения 0,4 мм² (зажимы 1 и 2). Если замкнуть цепь, то лампочка загорится, а показания амперметра составят 1 А. Что произойдёт, если увеличить длину нихромовой проволоки в 2 раза, добавив в цепь проволоку такой же длины и сечения (зажимы 1 и 3)?

Замкнув цепь, заметим, что показания амперметра уменьшились в 2 раза. При этом яркость лампочки также уменьшилась. Если длину проводника увеличить в 3 раза, то сила тока уменьшится в 3 раза. Итак, увеличение длины проводника, включённого в цепь, приводит к уменьшению силы тока в цепи. По закону Ома сила тока обратно пропорциональна сопротивлению проводника: $I = U/R$. Таким образом, чем больше длина проводника, тем больше его сопротивление, или можно сказать, что *сопротивление проводника прямо пропорционально его длине: $R \sim l$* .

ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

ОТ ПЛОЩАДИ ЕГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

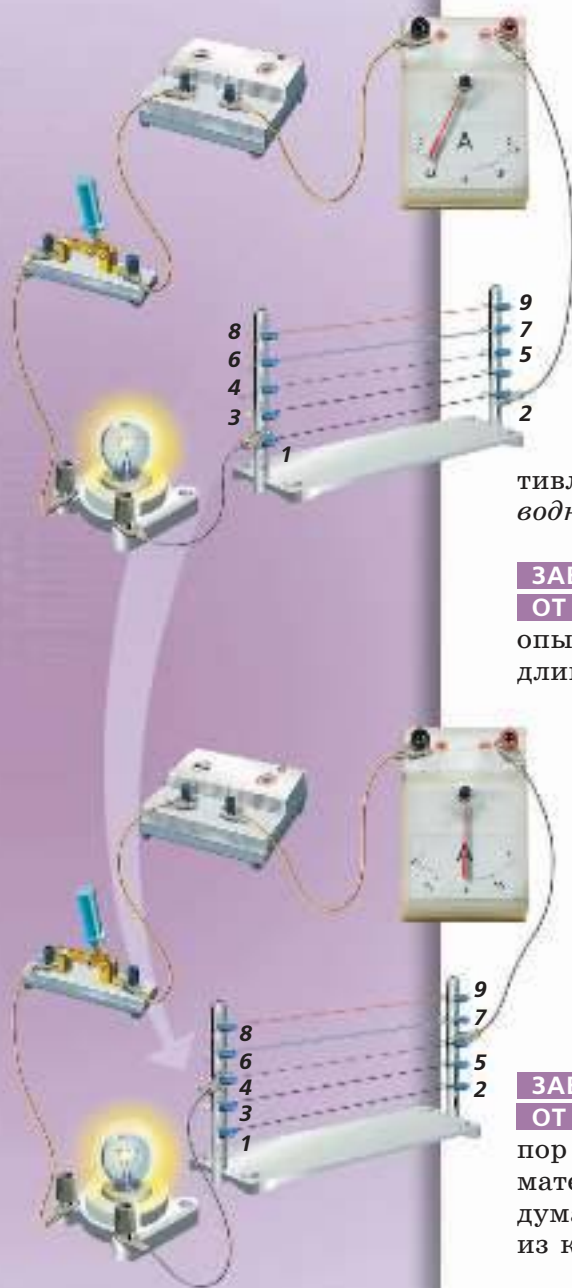
Продолжим опыт. В цепь включим два нихромовых проводника длиной по 1 м и площадями поперечного сечения 0,4 и 0,1 мм² соответственно (зажимы 1—2 и 4—5). Поочерёдно включая их в цепь, заметим, что показания амперметра больше для проводника с большей площадью поперечного сечения.

Таким образом, чем больше площадь поперечного сечения проводника (при условии, что их длина и материал, из которого они изготовлены, одинаковы), тем больше сила тока в цепи. Это означает, что сопротивление проводника обратно пропорционально площади его поперечного сечения: $R \sim 1/S$.

ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

ОТ МАТЕРИАЛА, ИЗ КОТОРОГО ОН ИЗГОТОВЛЕН

До сих пор мы проводили опыты с проводниками из одного материала, различающимися лишь размерами. Как вы думаете, будет ли зависеть сопротивление от материала, из которого изготовлен проводник?



Воспользуемся выше приведённой цепью. Подключим в неё два проводника длиной по 1 м и площадью поперечного сечения по 0,4 мм², один из которых изготовлен из меди, а другой из нихрома (зажимы 1—2 и 8—9). Поочерёдно включая их в цепь, мы заметим, что показания амперметра больше, когда в цепь включён медный проводник, чем когда в цепь включён проводник из нихрома. Это означает, что сопротивления проводников, изготовленных из разных материалов, различны. Следовательно, *сопротивление зависит от материала, из которого изготовлен проводник.*

УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКА Итак, сопротивление проводника прямо пропорционально его длине и обратно пропорционально его сечению. Коэффициент пропорциональности, отражающий зависимость сопротивления от свойств материала, обозначается буквой ρ и называется *удельным сопротивлением проводника*. Таким образом, можно записать:

$$R = \frac{\rho l}{S}.$$

Удельное сопротивление проводника — это физическая величина, которая показывает, каким сопротивлением обладает изготовленный из данного вещества проводник длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 мм².

Единицей сопротивления в СИ является *Ом*. Поэтому единицей удельного сопротивления является *Ом · м* (ом-метр). На практике часто используется внесистемная единица *Ом · мм²/м*.

Значения удельного сопротивления для разных проводников получают опытным путём. Результаты измерений занесены в справочные таблицы.

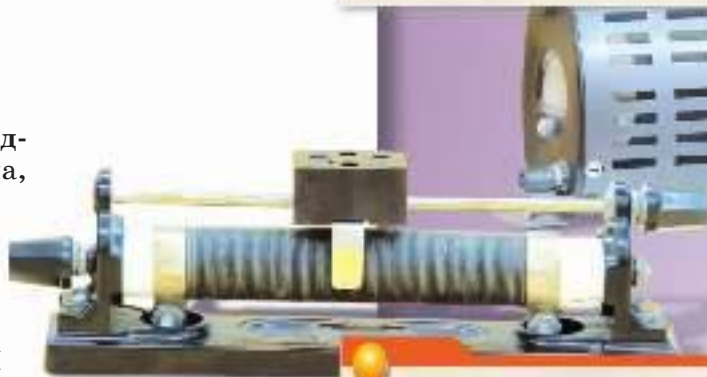
Из всех металлов наименьшим удельным сопротивлением обладают серебро и медь. Это лучшие проводники электричества. Фарфор и эбонит имеют такое большое удельное сопротивление, что почти не проводят электрический ток.

Для изготовления проводов чаще всего используют алюминий, железо или медь.

Удельное сопротивление вещества зависит от его температуры. Например, для металлов с ростом температуры растёт и удельное сопротивление. Этот факт приходится учитывать на практике при точных расчётах спиралей электронагревательных приборов. У электролитов, наоборот, при повышении температуры удельное сопротивление уменьшается.

Для решения ряда практических задач часто требуется либо увеличивать, либо уменьшать силу тока в цепи. Изменение силы тока в цепи происходит при изменении сопротивления.

Прибор, позволяющий плавно регулировать силу тока в цепи, называют **реостатом**. В ползунковом реостате проволока намотана на керамический цилиндр. Над обмоткой расположен металлический стержень, по которому может перемещаться ползунок. Перемещая ползунок по стержню, можно увеличивать или уменьшать сопротивление реостата, включённого в цепь.



Сопротивление проводника не зависит от значений тока и напряжения, а определяется его геометрическими размерами и зависит от материала, из которого он изготовлен.

Если обозначить величины: удельное сопротивление проводника — ρ , длина проводника — l , площадь поперечного сечения проводника — S , то

$$R = \frac{\rho l}{S}.$$

ВОПРОСЫ:

- Как сопротивление проводника зависит от его длины, площади поперечного сечения и вещества, из которого он изготовлен?
- Что такое удельное сопротивление проводника?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Основные способы соединения проводников в электрической цепи.
- Как определяется сила тока и напряжение в цепи, состоящей из последовательно соединённых проводников.
- Как определяется сила тока и напряжение в цепи, состоящей из параллельно соединённых проводников.

ВСПОМНИТЕ:

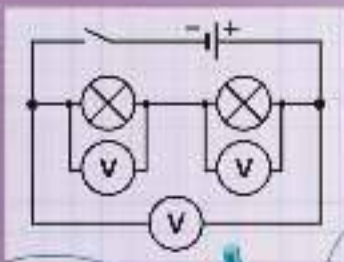
- Как измерить силу тока и напряжение на участке цепи?

При **последовательном соединении** проводников **сила тока** в любых участках цепи одинакова:

$$I = I_1 = I_2.$$

Общее напряжение в цепи равно сумме напряжений на её отдельных участках:

$$U = U_1 + U_2.$$



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

До сих пор мы рассматривали простейшие электрические цепи, состоящие из источника тока, одного потребителя (сопротивления) и измерительных приборов — амперметра и вольтметра. Однако на практике использование таких простых цепей довольно ограничено. Обычно несколько различных потребителей энергии, соединённых между собой, подключаются к одному источнику тока.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

При **последовательном соединении** проводники включаются в цепь поочерёдно друг за другом без разветвлений проводов между ними. В таких цепях электрические заряды последовательно проходят через все элементы цепи.

Соберём цепь, состоящую из двух потребителей, например лампочек, источника тока, ключа и амперметров.

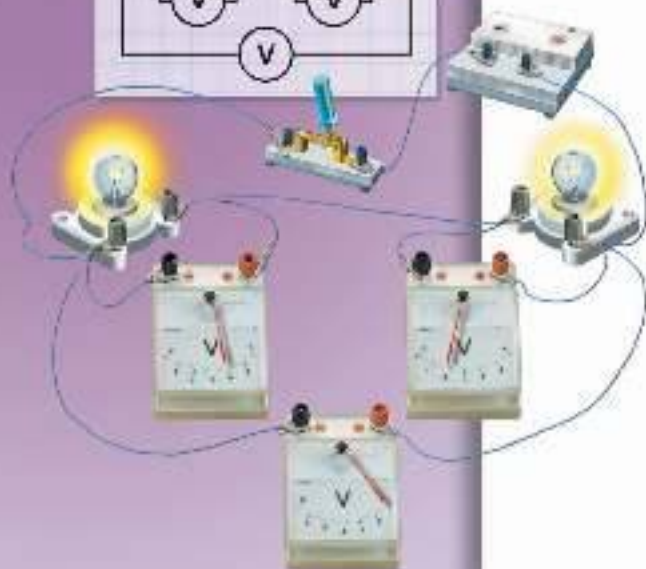


Независимо от положения в цепи амперметры показывают одинаковое значение силы тока. Следовательно, **при последовательном соединении сила тока в любых участках цепи одна и та же, т. е.**

$$I = I_1 = I_2.$$

При последовательном соединении один проводник следует за другим, и все заряды, проходящие через первый из них, непременно проходят и через второй (в месте соединения проводников накопления зарядов не происходит). По закону сохранения заряда сила тока в каждом проводнике одинакова и равна полному току I на данном участке цепи.

Сравним напряжения на каждом из проводников U_1 и U_2 и общее напряжение цепи U . Для этого подключим к каждой из лампочек по отдельному вольтметру, а также подсоединим к ним один общий. Показания вольтметров на каждом из проводников различны. Однако если сложить напряжения U_1 и U_2 , получим, что их сумма равна напряжению во всей цепи U .



Таким образом, при последовательном соединении полное напряжение в цепи равно сумме напряжений на отдельных участках цепи, т. е.

$$U = U_1 + U_2.$$

Это равенство следует из закона сохранения энергии. Вспомним, что напряжение показывает, какую работу совершает электрическое поле при перемещении электрического заряда в 1 Кл. Эта работа совершается за счёт энергии движущихся зарядов. Поэтому энергия, израсходованная на всём участке цепи, равна сумме энергий, которые расходуются на отдельных проводниках, составляющих этот участок.

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ На практике, помимо последовательного соединения, часто используется другой тип соединения проводников — параллельное.

При параллельном соединении все проводники, входящие в него, имеют общее начало и общий конец. Точку *A* можно считать началом этого соединения, а точку *B* — концом.

Сравним ток в общей части цепи с токами в каждом из параллельно соединённых участков цепи (ветвей).

Соединим две лампочки параллельно и подключим их к источнику тока. Для определения силы тока в каждой из ветвей соединения каждую лампочку последовательно соединим с амперметром. Третий амперметр измеряет силу тока в неразветвлённой части цепи.

При параллельном соединении ток I , текущий по цепи, в точке *B* разветвляется на два тока: I_1 и I_2 . Часть тока идёт через одну лампу, часть — через другую. В точке *A* токи снова соединяются.

Опыт показывает, что сила тока в неразветвлённой части цепи равна сумме сил токов в отдельных проводниках, т. е.

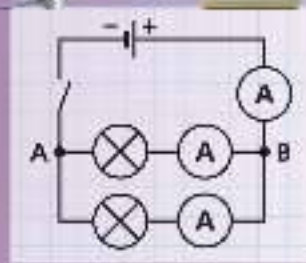
$$I = I_1 + I_2.$$

При параллельном соединении все проводники подключаются к одному и тому же источнику тока. Поэтому напряжение на параллельных участках цепи одно и то же и равно напряжению на всём рассматриваемом участке:

$$U = U_1 = U_2.$$

На практике параллельное соединение проводников используется чаще, чем последовательное. Это связано с тем, что все потребители энергии при параллельном соединении работают даже в том случае, если один из них отключается.

Например, если лампочки люстры соединены параллельно, то перегоревшая лампочка не разрывает сеть и оставшиеся лампочки продолжают гореть.



При параллельном соединении проводников сила тока в неразветвлённой части цепи равна сумме сил токов в параллельно соединённых проводниках:

$$I = I_1 + I_2.$$

Напряжение на всех параллельно соединённых проводниках одинаково:

$$U = U_1 = U_2.$$

ВОПРОСЫ:

- Как определяется сила тока и напряжение в цепи, состоящей из последовательно соединённых проводников?
- Как определяется сила тока и напряжение в цепи, состоящей из параллельно соединённых проводников?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как найти общее сопротивление цепи, состоящей из последовательно соединённых проводников.
- Как найти общее сопротивление цепи, состоящей из параллельно соединённых проводников.

ВСПОМНИТЕ:

- Как формулируется закон Ома?
- Как определяется сила тока и напряжение в цепи, состоящей из последовательно соединённых проводников?
- Как определяется сила тока и напряжение в цепи, состоящей из параллельно соединённых проводников?



При **последовательном соединении** нескольких проводников **общее сопротивление цепи** равно сумме сопротивлений отдельных проводников:

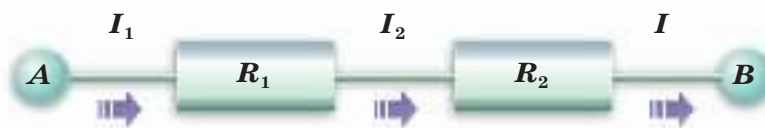
$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$

Способ последовательного подключения всё новых участков цепи реализован в работе реостата, о котором говорилось на предыдущих уроках. Передвигая ползунок реостата, мы увеличиваем или уменьшаем число витков проволоки, включённых последовательно в цепь. При этом сопротивление цепи соответственно увеличивается или уменьшается.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ И ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРОВОДНИКОВ

На предыдущем уроке мы выяснили, как определяется сила тока и напряжение в цепи, состоящей из последовательно и параллельно соединённых участков. Но для применения закона Ома, как правило, необходимо знать общее сопротивление такой сложной цепи.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРОВОДНИКОВ Рассмотрим участок цепи AB , представляющий собой последовательное соединение двух резисторов с сопротивлениями R_1 и R_2 .



$$I = I_1 = I_2$$

$$U = U_1 + U_2$$

В соответствии с законом Ома полное сопротивление рассматриваемого участка

$$U = IR,$$

где U — общее напряжение на участке цепи AB , равное сумме напряжений на каждом из резисторов:

$$U = U_1 + U_2.$$

I — сила тока на участке цепи AB . Она одинакова на всём участке и равна силе тока I_1 и I_2 в каждом из резисторов. Поэтому можно записать:

$$\begin{aligned} IR &= IR_1 + IR_2, \\ IR &= I(R_1 + R_2). \end{aligned}$$

Следовательно,

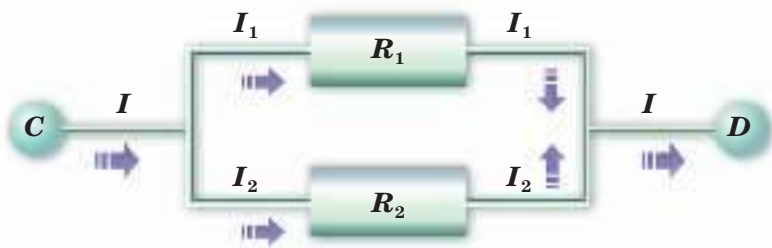
$$R = R_1 + R_2.$$

Общее сопротивление цепи при последовательном соединении равно сумме сопротивлений отдельных проводников.

При последовательном соединении проводников их общая длина увеличивается. Поэтому сопротивление цепи становится больше сопротивления любого из проводников.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРОВОДНИКОВ

Рассмотрим участок цепи CD , представляющий собой параллельное соединение двух резисторов с сопротивлениями R_1 и R_2 .



$$I = I_1 + I_2$$

$$U = U_1 = U_2$$

В соответствии с законом Ома

$$I = \frac{U}{R},$$

где R — общее сопротивление рассматриваемого участка цепи; U — общее напряжение на участке цепи CD , равное напряжениям U_1 и U_2 на каждом из резисторов; I — сила тока на участке цепи CD , она равна сумме токов в каждом из резисторов:

$$I = I_1 + I_2.$$

Поэтому можно записать:

$$\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2},$$

где R_1 и R_2 — сопротивления первого и второго резисторов соответственно.

Учитывая, что $U = U_1 = U_2$, получаем

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right).$$

Следовательно,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Для рассмотренного случая двух резисторов, соединённых параллельно, **общее сопротивление цепи можно вычислить по формуле**

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Таким образом, общее сопротивление цепи при параллельном соединении нескольких резисторов можно вычислить из формулы

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Уменьшение общего сопротивления проводников при их параллельном соединении объясняется тем, что общая площадь поперечного сечения проводников на данном участке цепи увеличивается.

При **параллельном соединении** нескольких проводников **общее сопротивление цепи** можно вычислить по формуле

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

В используемых на практике электрических цепях часто встречается смешанное соединение проводников, включающее в себя как последовательные, так и параллельные участки. При расчёте таких цепей сначала вычисляют необходимые величины на каждом из участков цепи, а затем находят её общие параметры.

ВОПРОСЫ:

- Как найти общее сопротивление цепи, состоящей из последовательно соединённых проводников?
- Как найти общее сопротивление цепи, состоящей из параллельно соединённых проводников?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как можно объяснить нагревание проводников электрическим током.
- Как вычислить работу электрического тока.
- В чём заключается закон Джоуля—Ленца.

ВСПОМНИТЕ:

- Как вычислить силу тока на участке цепи?
- Что такое напряжение?
- В чём заключается закон Ома?
- Что такое мощность?

Электрическая энергия, используемая потребителями тока, измеряется работой тока в этих потребителях. Для учёта совершённой работы служат счётчики — специальные устройства, сочетающие в себе три прибора: амперметр, вольтметр и часы.

Внутри счётчика имеется небольшой электродвигатель, диск которого начинает вращаться, если через счётчик проходит ток. При этом скорость вращения диска пропорциональна силе тока и напряжению. Количество оборотов диска подсчитывается счётным механизмом. Затраты электроэнергии в конечном счёте и определяются числом оборотов диска.

Если обозначить величины: напряжение на концах участка цепи — U , время — t , сила тока — I , то **работа электрического тока** за определённый промежуток времени рассчитывается по формуле

$$A = UIt.$$

РАБОТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. ЗАКОН ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА

Каждый день мы пользуемся электрическими бытовыми приборами и не раз замечали, что во время работы они нагреваются независимо от того, включены ли они в сеть или питаются от аккумулятора. С чем это связано?

ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА Электрический ток, протекая по проводнику, вызывает его нагревание. Причина нагревания проводников электрическим током состоит в том, что свободные электроны в металлах (или ионы в растворах или расплавах электролитов), двигаясь под действием электрических сил, взаимодействуют с ионами (атомами) вещества проводника. В результате этого взаимодействия часть кинетической энергии движущихся электронов или ионов передаётся ионам кристаллической решётки. Это приводит к увеличению внутренней энергии проводника, т. е. увеличению его температуры. Энергию движущихся электрических зарядов принято называть *энергией электрического тока* или *электрической энергией*.

РАБОТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА Электрические силы в проводнике совершают работу по переносу заряда. Напряжение на участке цепи есть не что иное, как отношение работы A электрических сил по переносу положительного заряда q к значению этого заряда:

$$U = \frac{A}{q}.$$

Зная напряжение между концами проводника и перемещённый заряд, можно записать эту работу как

$$A = qU.$$

Значение перемещённого заряда q за время t можно получить, зная силу тока в цепи I :

$$q = It.$$

Следовательно,

$$A = UIt.$$

Работу электрического поля называют работой тока. Работа электрического тока на участке цепи равна произведению напряжения на концах этого участка на силу тока и на время, в течение которого протекал ток.

Работа электрического тока показывает, сколько электрической энергии превратилось в другие виды энергии.

Например, нагревание металлического проводника, поворот рамки с током — это примеры работы электрического тока, когда электрическая энергия превращается в другой вид энергии (внутреннюю, механическую и т. д.).

Единицей работы является *джоуль* (1 Дж).

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}.$$

ЗАКОН ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА Если на участке цепи, по которому протекает электрический ток, не совершается механическая работа и не происходят химические превращения вещества, то работа электрического тока приводит только к нагреванию проводника, т. е. при протекании тока по проводнику происходит превращение электрической энергии в тепловую. При этом по закону сохранения энергии количество теплоты Q , выделяемое проводником с током, будет равно работе электрического тока A :

$$Q = A.$$

Известно, что $A = UIt$, тогда и $Q = UIt$. Учитывая закон Ома $U = IR$, получаем

$$Q = IRI t, \text{ или } Q = I^2 R t.$$



Количество теплоты, выделяемое проводником с током, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления и времени его протекания.

Этот закон был экспериментально установлен английским учёным Джеймсом Джоулем и независимо от него российским учёным Эмилием Ленцем, поэтому носит название *закона Джоуля—Ленца*.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКОНА ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ И ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРОВОДНИКОВ

При последовательном соединении сила тока во всех проводниках одинакова, поэтому для вычисления количества теплоты, выделяющейся в отдельных проводниках, удобнее пользоваться формулой

$$Q = I^2 R t.$$

Она показывает, что при последовательном соединении нескольких проводников в каждом из них выделяется количество теплоты, пропорциональное сопротивлению проводника.

При параллельном соединении напряжение на концах проводников одинаково, поэтому удобнее пользоваться формулой

$$Q = \frac{U^2}{R} t.$$

Она показывает, что при параллельном соединении в каждом проводнике выделяется количество теплоты, обратно пропорциональное сопротивлению проводника.



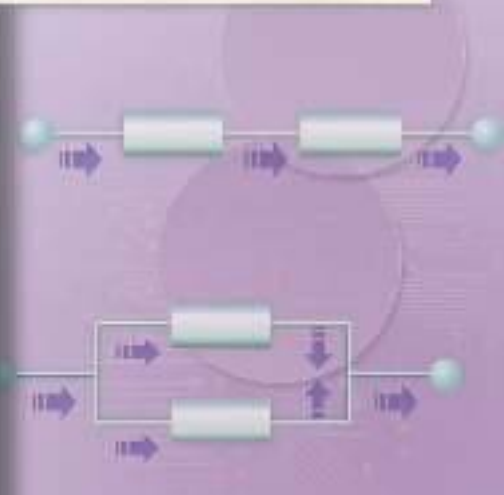
**Эмилий Христианович
Ленц**

(1804—1865)

Российский физик и электротехник, основные работы относятся к области электричества и магнетизма.

Если обозначить величины: количество теплоты, выделяемое проводником с током, — Q , время — t , сила тока — I , сопротивление — R , то **закон Джоуля—Ленца** записывают в виде формулы

$$Q = I^2 R t.$$



ВОПРОСЫ:

- Как можно объяснить нагревание проводников электрическим током?
- Как вычислить работу электрического тока?
- Как формулируется закон Джоуля—Ленца?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как вычислить мощность электрического тока.
- Как зависит мощность электроприборов от способа их включения в цепь.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое механическая мощность?
- Как вычислить работу электрического тока?

Если обозначить величины: напряжение — U , сила тока — I , то **мощность электрического тока** вычисляется по формуле

$$P = UI.$$

МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Телевизор 100–400 Вт

Стиральная машина 1000–2500 Вт

Дрель 400–800 Вт

Холодильник 60–500 Вт

Утюг 500–2000 Вт

Электродвигатель лифта 5–30 Вт

МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

В обыденной жизни нередко нам приходится менять электрические лампочки в люстрах или настольных лампах. При этом возникает вопрос: какую лампочку выбрать? Как известно, лампочки различаются не только по своему внешнему виду и устройству, но и по такому важному параметру, как мощность.

МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА Действие тока характеризуется не только работой, но и *мощностью*. Из курса физики 7 класса вы знаете, что мощность равна отношению совершённой работы ко времени, в течение которого эта работа была совершена. Мощность в механике принято обозначать буквой N , электрическая мощность обозначается буквой P . По аналогии с механикой электрическая мощность — это физическая величина, характеризующая быстроту совершения работы электрическим током:

$$P = \frac{A}{t}.$$

Но работа тока равна произведению напряжения на силу тока и на время его протекания:

$$A = UIt.$$

Поэтому мощность тока равна:

$$P = \frac{UIt}{t} = UI.$$

Таким образом, *мощность электрического тока равна произведению напряжения на силу тока в цепи:*

$$P = UI. \quad (1)$$

ЕДИНИЦЫ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА За единицу мощности принят *ватт* (1 Вт):

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А}.$$

Зная мощность электрического тока, легко определить работу тока за заданный промежуток времени:

$$A = Pt.$$

Единицей работы электрического тока является *джоуль* (1 Дж):

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ с}.$$

Эту единицу работы неудобно использовать на практике, так как работа тока совершается в течение длительного времени (несколько часов и более). Поэтому часто используется внесистемная единица работы: *ватт-час* (Вт · ч) или *киловатт-час* (кВт · ч):

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж}.$$

ЗАВИСИМОСТЬ МОЩНОСТИ ОТ СПОСОБА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТОКА

Мы знаем, что для настольной лампы чаще всего используются лампочки 25—60 Вт, поскольку они дают достаточно света при включении в сеть, а лампы мощностью 150—200 Вт используют для освещения больших пространств, подъездов, улиц.

Однако всегда ли лампочка большей мощности будет гореть ярче лампы, имеющей меньшую мощность? Для ответа на поставленный вопрос решим следующую задачу. Пусть имеются две лампочки, рассчитанные на напряжение не больше чем 6 В, но различающиеся по мощности (одна лампочка имеет мощность 3 Вт, а другая — 1,8 Вт). Какая из ламп будет гореть более ярко при их включении в цепь двумя способами — параллельно и последовательно? Напряжение источника тока в цепи равно в обоих случаях 6 В.

Обозначим мощность первой лампочки (**номинальная мощность**) $P_{1\text{ном}} = 3$ Вт, а мощность второй лампочки $P_{2\text{ном}} = 1,8$ Вт.

Чем объяснить, что лампочка в 1,8 Вт при последовательном соединении горит ярче лампы в 3 Вт?

Из формулы (1) с учётом закона Ома нетрудно получить другое выражение для мощности:

$$P = \frac{U^2}{R}. \quad (2)$$

Из формулы (2) находим сопротивление каждой лампочки: $R_1 = 12$ Ом, $R_2 = 20$ Ом.

При последовательном соединении ламп сила тока, протекающего через них, одинакова: $I_1 = I_2 = I$. Поэтому *тепловая мощность каждой лампы будет отличной от номинальной*:

$$P_1 = I^2 R_1,$$

$$P_2 = I^2 R_2.$$

Поскольку $R_2 > R_1$, то $P_2 > P_1$, т. е. лампа, рассчитанная на мощность 1,8 Вт, будет гореть ярче, чем лампа, рассчитанная на мощность 3 Вт.

При *параллельном соединении* ламп наблюдается другая картина. В этом случае напряжение на каждой из ламп одинаково: $U_1 = U_2 = U$. При этом расчёт мощности нужно проводить по формуле (2). Отсюда следует, что лампа, рассчитанная на мощность 3 Вт, будет гореть ярче лампы, рассчитанной на мощность 1,8 Вт.



При последовательном соедине-

нии сила тока во всех проводниках одинакова. Поэтому для вычисления мощности удобнее пользоваться формулой

$$P = I^2 R.$$

При параллельном соединении напряжение на концах проводников одинаково. Поэтому в таком случае

$$P = \frac{U^2}{R}.$$



При работе с различными бытовыми приборами необходимо учитывать не только их паспортную (номинальную) мощность, но и тип их соединения.



Атмосферные электрические заряды (молнии) могут иметь напряжение до 1 миллиарда вольт, а сила тока молнии может достигать 200 тысяч ампер. Время существования молнии оценивается от 0,1 до 1 с. Температура достигает 6—10 тысяч градусов Цельсия.

Несложно посчитать, что мощность молнии при таких условиях равна 200 ГВт, а выделяемая энергия составляет около 200 ГДж.

ВОПРОСЫ:

- Как вычислить мощность электрического тока?
- Как зависит мощность электроприборов от способа их включения в цепь?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как устроена лампа накаливания.
- Что такое короткое замыкание.
- Для чего применяются предохранители.

ВСПОМНИТЕ:

- Как можно объяснить нагревание проводников электрическим током?
- В чём заключается закон Джоуля—Ленца?



**Александр Николаевич
Лодыгин**
(1847—1923)

Русский электротехник, создатель лампы накаливания.



Томас Альва Эдисон
(1847—1931)

Американский физик и изобретатель в области электротехники.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Тепловое действие тока широко используют в различных электронагревательных приборах и устройствах. Например, такими приборами являются электрические плиты, разного рода обогреватели, фены для сушки волос, утюги, электрочайники и т. д.

НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ Основной частью любого электронагревательного прибора является *нагревательный элемент*. Обычно он представляет собой спираль из материала с большим удельным сопротивлением, который способен выдерживать нагревание до высокой температуры.

Чаще всего для изготовления электронагревательного элемента используют нихром — сплав никеля, железа, хрома и марганца.

ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ Обычные лампы накаливания превращают в световую энергию менее 10 % потребляемой электроэнергии, а остальные 90 % превращают в теплоту. Поэтому такие лампы тоже можно считать электронагревательными приборами.

Впервые лампа накаливания была изобретена русским электротехником А. Н. Лодыгиным. Основным её элементом был тонкий угольный стержень, который помещался в сосуд с выкачанным воздухом. Срок службы первых ламп был небольшим — всего 30—40 мин.

Американский изобретатель Т. А. Эдисон продолжил исследования Лодыгина, подбирая более совершенный материал для элемента накаливания. При этом он предложил очень удобную вставку для лампы (эдисоновский патрон), а также сконструировал выключатель, с помощью которого можно было включать и выключать свет.

Позднее Лодыгин предложил вместо угольной нити использовать вольфрамовую, которая и сейчас используется в современных лампах накаливания.

Спираль с помощью специальных держателей укрепляется внутри стеклянного *баллона*, наполненного инертным газом, чтобы вольфрам не испарялся и спираль быстро не перегорала. Концы спирали приварены к двум проволокам, которые прикреплены к металлическим частям *цоколя*. Для включения лампы в сеть её ввинчивают в патрон. Он представляет собой пластмассовый корпус, в котором имеется металлическая гильза с резьбой. К ней присоединён один из проводов сети. Патрон контактирует с цоколем. Второй провод от сети присоединён к контакту, который касается основания цоколя лампы. На каждой лампе указывают мощность и напряжение, на которые она рассчитана.

УТЮГ Хорошо всем знакомый утюг был изобретён очень давно. С появлением электричества и развитием техники появились электрические утюги.

Первоначально в качестве нагревательного элемента служила нихромовая спираль, вставленная внутрь «гирлянды» фарфоровых изоляторов. Позднее стали использовать узкую нихромовую ленту, намотанную на пластинку из жаропрочного материала — слюды или керамики.

В современных утюгах применяют проволочные спирали, заключённые внутрь металлических трубок. Их заполняют специальным электроизоляционным материалом, который препятствует соприкосновению витков спирали друг с другом и, главное, с металлическими стенками трубки.

КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ Провода, соединяющие потребителей тока с источниками электрической энергии, например квартирная проводка, всегда рассчитаны на определённый максимальный ток. По разным причинам сила тока может превысить допустимое значение, что приведёт к перегреву проводов и воспламенению их изоляции.

Одной из причин нарушения нормальной работы электрической сети может быть так называемое **короткое замыкание** проводов, при котором концы участка цепи соединяются проводником, сопротивление которого мало по сравнению с сопротивлением этого участка цепи. Такое замыкание возникает, в частности, из-за повреждения изоляции проводов.

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ Чтобы избежать последствий короткого замыкания, в сеть включают *предохранители*. Их назначение — автоматическое отключение электрической цепи, когда в ней начинает идти ток больше допустимой нормы.

Электрическая проводка в жилых зданиях рассчитана, как правило, на силу тока 6 А или 10 А. Главной частью предохранителей, используемых для её защиты, является *проволока* из легкоплавкого материала (например, из свинца).

Проволока находится внутри фарфоровой *пробки*, которая имеет *винтовую нарезку* и центральный *контакт*. Нарезка соединена с центральным контактом этой проволокой. Пробку ввинчивают в патрон, находящийся внутри фарфоровой коробки.

Свинцовая проволока представляет, таким образом, часть общей цепи. Толщина свинцовых проволок рассчитана так, что они выдерживают определённую силу тока.

Если сила тока превысит допустимое значение, то свинцовая проволока расплавится и цепь окажется разомкнутой. Предохранители с плавящимся проводником называют **плавкими предохранителями**.

Помимо плавких предохранителей, в последнее время в быту широкое распространение получили автоматические предохранители, в основу работы которых положено тепловое и/или магнитное действие тока. Если сила тока превысит допустимое значение, автоматический предохранитель разорвёт цепь.

В отличие от плавкого предохранителя автоматический готов к дальнейшему использованию после устранения неисправностей в сети.



ВОПРОСЫ:

- Как устроена лампа накаливания?
- Что такое короткое замыкание?
- Для чего применяются предохранители?

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как решать задачи на соединение проводников.
- Как решать задачи на расчёт работы и мощности электрического тока.

ЗАДАЧА 1 Какой длины надо взять медную проволоку площадью поперечного сечения $0,5 \text{ мм}^2$, чтобы её сопротивление было равно 100 Ом ?

Запишем условие задачи и решим её.

3

Дано:

$$S = 0,5 \text{ мм}^2$$

$$R = 100 \text{ Ом}$$

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$l = ?$$

СИ

$$0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Решение:

Сопротивление металлического проводника может быть рассчитано по формуле

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Следовательно,

$$l = \frac{RS}{\rho},$$

$$l = \frac{100 \text{ Ом} \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2}{1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}} = 2941 \text{ м}.$$

Ответ: $l = 2941 \text{ м}$.

ЗАДАЧА 2 В сеть последовательно включены электрическая лампочка и резистор. Сопротивление нити накала лампочки равно 12 Ом , а резистора — 240 Ом . Каково напряжение на резисторе, если напряжение на лампочке равно $2,5 \text{ В}$?

Запишем условие задачи и решим её.

3

Дано:

$$R_1 = 12 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 240 \text{ Ом}$$

$$U_1 = 2,5 \text{ В}$$

$$U_2 = ?$$

Решение:

Проводники соединены последовательно, значит,

$$I_1 = I_2.$$

Согласно закону Ома

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}, \text{ а } I_2 = \frac{U_2}{R_2}.$$

Учитывая, что $I_1 = I_2$, получим

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} \Rightarrow U_2 = \frac{U_1 R_2}{R_1},$$

$$U_2 = \frac{2,5 \text{ В} \cdot 240 \text{ Ом}}{12 \text{ Ом}} = 50 \text{ В}.$$

Ответ: $U_2 = 50 \text{ В}$.

ЗАДАЧА 3 Проволоку сопротивлением 20 Ом разрезали пополам и полученные половины соединили параллельно. Каким стало сопротивление участка цепи, собранного из кусков проволоки?

Запишем условие задачи и решим её.

3

Дано:

$$R_0 = 20 \text{ Ом}$$

$$R = ?$$

Решение:

Будем считать, что проволока однородна, т. е. сечение проволоки одинаково по всей её длине.

Тогда сопротивление кусков проволоки будет равно $R_0/2$, так как их длина в 2 раза меньше длины проволоки. Определим сопротивление участка цепи при параллельном соединении проволок:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{(R_0/2)} + \frac{1}{(R_0/2)} \Rightarrow R = \frac{R_0}{4}.$$

Подставим числовые значения:

$$R = \frac{20 \text{ Ом}}{4} = 5 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R = 5 \text{ Ом}$.

ЗАДАЧА 4 Сколько электроэнергии потребляет электрическая плитка за 2 ч работы, если при напряжении 220 В сила тока в спирали равна 5 А? Какова при этом мощность плитки?

Запишем условие задачи и решим её.

3

Дано:

$$U = 220 \text{ В}$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$$t = 2 \text{ ч}$$

$$W = ?$$

$$P = ?$$

СИ

$$7200 \text{ с}$$

Решение:

Количество потребляемой плиткой электроэнергии из сети W равно работе тока, проходящего через плитку за время t :

$$W = A$$

(потери в проводке пренебрегаем).

Тогда

$$W = UIt,$$

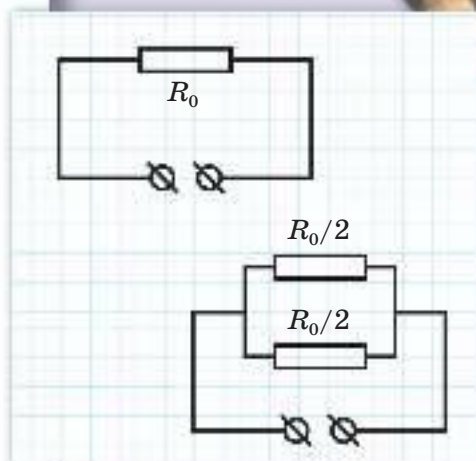
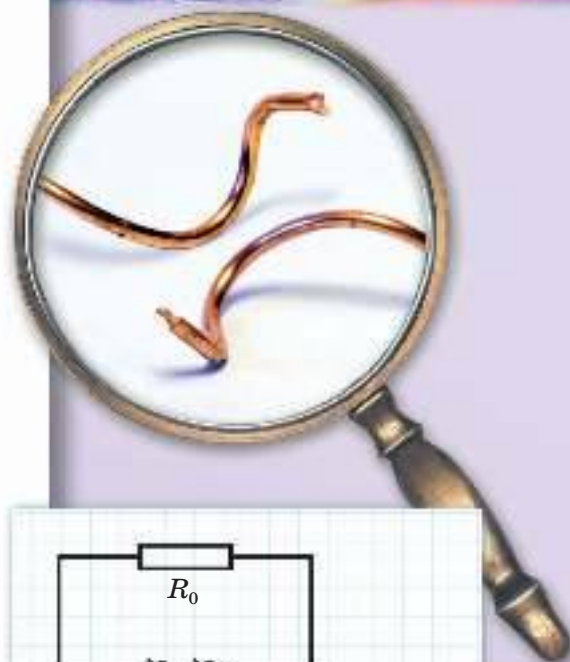
$$W = 220 \text{ В} \cdot 5 \text{ А} \cdot 7200 \text{ с} \approx 8 \text{ МДж}.$$

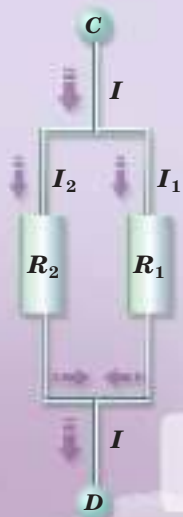
Мощность электроплитки

$$P = UI,$$

$$P = 220 \text{ В} \cdot 5 \text{ А} = 1,1 \text{ кВт}.$$

Ответ: $W \approx 8 \text{ МДж}$, $P = 1,1 \text{ кВт}$.





$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

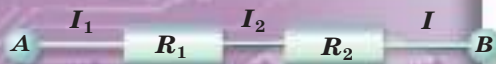
$$I = I_1 + I_2$$

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ
СОЕДИНЕНИЕ

$$U = U_1 = U_2$$



МОЩНОСТЬ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА



$$I = I_1 = I_2$$

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ
СОЕДИНЕНИЕ

$$U = U_1 + U_2$$

$$R = R_1 + R_2$$

Политехнический
музей

[http://eng.polymus.ru/rv/
?h=news](http://eng.polymus.ru/rv/?h=news)

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Сопротивление проводника не зависит от значений тока и напряжения, а определяется его геометрическими размерами и зависит от материала, из которого проводник изготовлен.
- Различают последовательное и параллельное соединения элементов электрической цепи.
- Энергию движущихся электрических зарядов принято называть энергией электрического тока или электрической энергией.
- Электрические силы в проводнике совершают работу по переносу заряда.
- При протекании тока по проводнику происходит превращение электрической энергии в тепловую.
- Действие тока характеризуется не только работой, но и мощностью.
- Тепловое действие тока используют в различных электронагревательных приборах и установках.

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

СОПРОТИВЛЕНИЕ

$$R \sim l$$

$$R \sim \frac{1}{S}$$

ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

$$A = UIt$$

РАБОТА
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

«ПОДРОБНЕЕ...»

Липсон Г. Великие эксперименты в физике. — М.: Мир, 1978.

Хребтов В. А. Физика. — СПб.: Издательский дом «Литера», 2006. — (Энциклопедический словарь школьника).

Энциклопедия для детей. Т. 14. Техника. — М.: Аванта+, 2001.

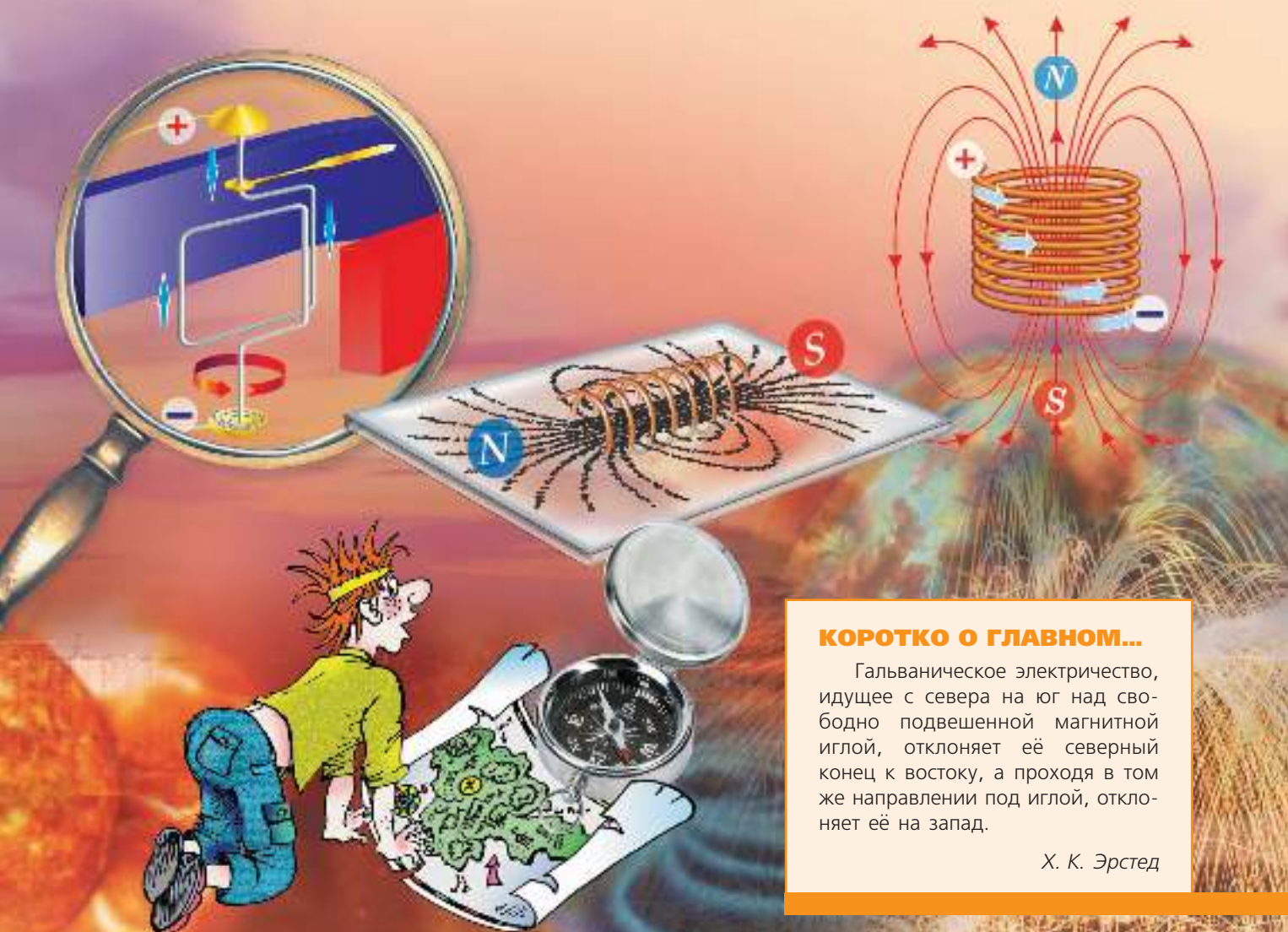
ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Какой проводник имеет большее сопротивление: медный сплошной стержень или медная трубка, внешний диаметр которой равен диаметру стержня? Длину обоих проводников считать одинаковой.
- Почему вспомогательные части цепей (клеммы, контакты и т. д.) производят из меди, причём изготавливают данные элементы короткими и толстыми?
- Для чего на шкале уровня воды в электрическом чайнике указывается его минимально допустимое значение?



МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

- МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ПОТОКА
- МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАТУШКИ С ТОКОМ
- ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ
- МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ
- ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ



КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

Гальваническое электричество, идущее с севера на юг над свободно подвешенной магнитной иглой, отклоняет её северный конец к востоку, а проходя в том же направлении под иглой, отклоняет её на запад.

Х. К. Эрстед

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что является источником магнитного поля.
- Как графически изображается магнитное поле.
- Правило буравчика.

ВСПОМНИТЕ:

- Из каких элементов состоит электрическая цепь?
- Что такое электрический ток и электрическое поле?
- Что такое силовые линии электрического поля?
- Что является источником электрического поля?



Ханс Кристиан Эрстед
(1777—1851)

Датский физик, исследователь электромагнетизма.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ТОКА

Магнитные явления известны людям с глубокой древности. Ещё древние греки знали, что существует особый минерал, способный притягивать железные предметы. Это был один из минералов железной руды, который сейчас известен как магнетит. Его залежи находились около города Магнесии на севере Турции. Слово «магнит» в переводе с греческого означает «камень из Магнесии». Впервые свойства магнитных материалов использовали в Китае — именно там был сконструирован первый компас.

МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ Свойства магнитов тщательно изучил и систематизировал английский врач Уильям Гильберт. В своей книге «О магните...», опубликованной в 1600 г., он впервые описал и проанализировал магнитные явления. При этом он опирался на наблюдения, эксперимент и математический расчёт.



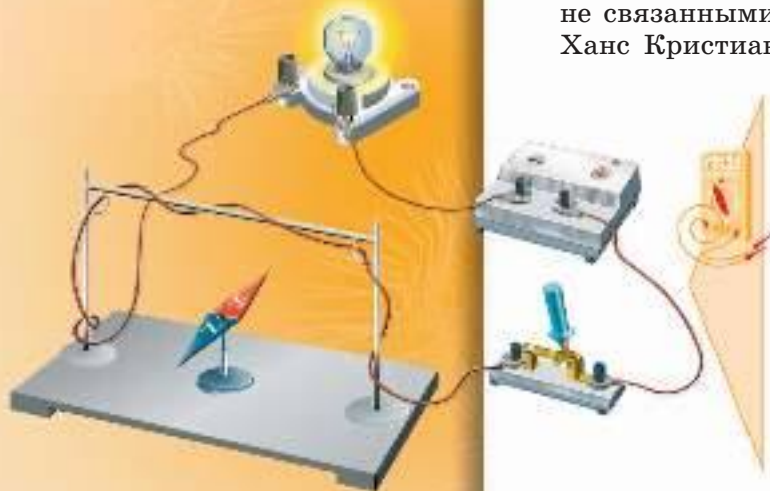
Мне остаётся сказать, по какому закону природы
Может железо к себе притягивать камень, который
Греки магнитом зовут по названию месторождения,
Ибо находится он в пределах отчизны магнетов.

Этому камню народ удивляется, ибо нередко
Цепью звено к звену, от него исходя, повисает.
Можно ведь видеть порой, что, качаясь от лёгкого ветра,
Пять или больше таких свободно спускается звеньев.
Все они вместе висят и, одно к одному прилепляясь,
Камня силу и связь друг от друга тогда испытуют:
Так его сила всегда непрерывным вливается током...

Тит Лукреций Кар. «О природе вещей»

В начале XIX в. учёные начали уделять большое внимание поиску взаимосвязей между явлениями электричества и магнетизма, которые до этого времени казались не связанными друг с другом. В 1820 г. датский физик Ханс Кристиан Эрстед установил, что провод, по которому течёт электрический ток, отклоняет магнитную стрелку компаса.

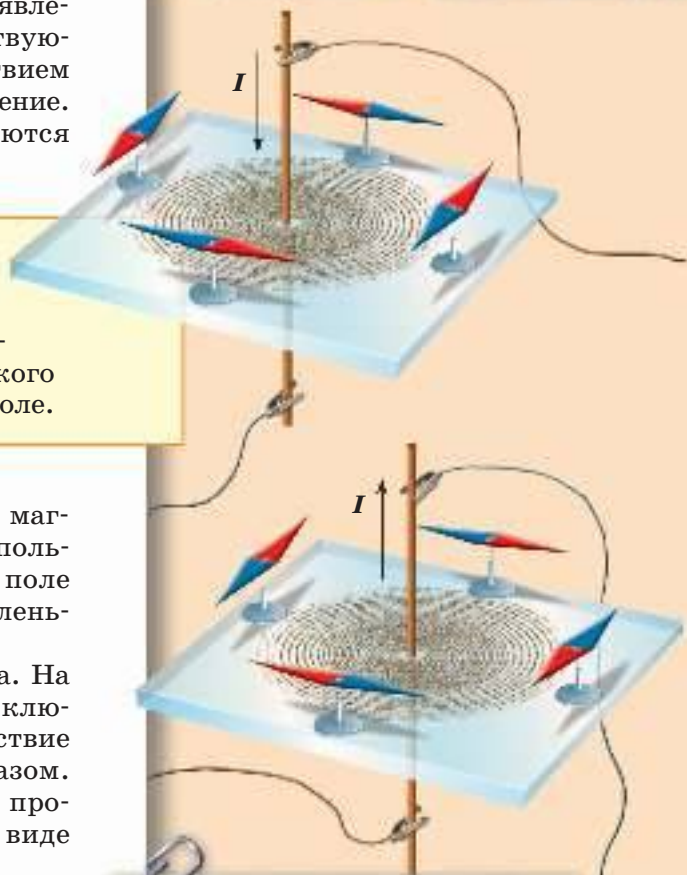
Соберём электрическую цепь, состоящую из источника тока, лампы и ключа. Около одного из проводов поместим стрелку компаса. При отсутствии тока в цепи (ключ разомкнут) магнитная стрелка направлена строго на север. Провод расположим так, чтобы направление стрелки было параллельно проводу. Замкнём цепь. Лампа загорится, а магнитная стрелка отклонится от своего первоначального положения.



МАГНИТНОЕ ПОЛЕ Опыт Эрстеда демонстрирует появление вокруг проводников с током новых сил, действующих на магнитную стрелку компаса. Под их действием стрелка приходит в движение и меняет своё направление. Эти силы называются **магнитными**, они порождаются **магнитным полем**.



Магнитное поле существует вокруг любого проводника с током. Вокруг неподвижных электрических зарядов существует *электрическое поле*. Вокруг движущихся электрических зарядов, т. е. электрического тока, существует и *электрическое*, и *магнитное* поле.



МАГНИТНЫЕ ЛИНИИ Для того чтобы обнаружить магнитное поле вокруг проводника с током, можно использовать мелкие железные опилки. В магнитном поле опилки намагничиваются и ведут себя подобно маленьким магнитным стрелкам.

Проведём прямой проводник сквозь лист картона. На картон насыпем тонкий слой железных опилок и включим ток. При этом возникает магнитное поле, действие которого на опилки видно невооружённым глазом. Опилки, ранее хаотически разбросанные вокруг проводника, теперь располагаются упорядоченно, в виде концентрических окружностей.

Линии, вдоль которых в магнитном поле располагаются оси маленьких магнитных стрелок, называют **силовыми линиями магнитного поля**.

Продолжим опыт. На листе картона закрепим несколько магнитных стрелок. При пропускании тока по проводнику они расположатся вдоль силовых линий магнитного поля. Если изменить направление тока в проводнике на противоположное, то все стрелки повернутся на угол 180° .

Это означает, что магнитные линии магнитного поля тока имеют определённое направление, которое связано с направлением тока в проводнике.

Направление линий магнитного поля совпадает с направлением, которое указывает северный полюс магнитной стрелки в каждой точке поля.

Магнитные линии используются для графического представления магнитного поля. В отличие от силовых линий электрического поля линии магнитного поля замкнуты, они не имеют ни начала, ни конца.

Для определения направления линий магнитного поля, созданного проводником с током, используют **правило буравчика**: *если направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика совпадает с направлением линий магнитного поля тока.*

Графически направление тока в проводнике принято обозначать крестиком (если ток направлен от нас) или точкой (если ток направлен к нам).

Мысленно это можно представить следующим образом. Если вы смотрите на стрелку спереди, то видите её наконечник — точку. Если смотреть на стрелку сзади, то будет видно её оперение — крестик.



ВОПРОСЫ:

- Какое поле существует вокруг неподвижного заряда? вокруг движущегося заряда?
- Что такое силовые линии магнитного поля?
- Как формулируется правило буравчика?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое соленоид.
- Что собой представляют силовые линии магнитного поля катушки с током.
- Как можно усилить магнитное действие катушки с током.
- Что такое электромагнит.

ВСПОМНИТЕ:

- При каких условиях возникает магнитное поле?
- Как графически изображается магнитное поле?

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАТУШКИ С ТОКОМ

Как показывает опыт, магнитное поле проводника с током можно существенно усилить, если этот проводник свернуть в форме спирали.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАТУШКИ С ТОКОМ Катушку с намотанным на цилиндрическую поверхность изолированным проводником, по которому течёт электрический ток, называют **соленоидом** (от греч. *solen* — трубка).

Соберём электрическую цепь, состоящую из источника тока, ключа и провода, намотанного на катушку. Если замкнуть цепь, через катушку потечёт электрический ток. Лёгкие железные предметы, расположенные около катушки, будут притягиваться к её концам. Если цепь разомкнуть, все предметы отпадут.



Теперь подвесим катушку на гибких проводниках. При замыкании ключа в катушке возникает ток, в результате чего она поворачивается. При этом направление оси катушки будет совпадать с направлением магнитной стрелки компаса: один конец катушки будет обращён к северу, а другой — к югу. Таким образом, катушка с током приобретает свойства магнита.

Если поменять направление тока в катушке, то она повернётся на угол 180° . Это ещё раз подтверждает тот факт, что направление линий магнитного поля связано с направлением тока в проводнике.

МАГНИТНЫЕ ЛИНИИ Магнитное поле катушки с током можно обнаружить так же, как и магнитное поле прямого тока: при помощи железных опилок. Для этого используют стеклянную пластинку, сквозь которую пропущен проводник в виде катушки.

На стеклянную пластинку насыпают железные опилки, а через катушку пропускают электрический ток. При этом железные опилки располагаются в строго определённом порядке.

Силовые линии магнитного поля катушки с током являются замкнутыми кривыми. Внутри катушки они параллельны друг другу, а на концах расходятся и замыкаются вне катушки.





Для определения направления линий магнитного поля катушки с током используют **правило правой руки**: если мысленно обхватить соленоид ладонью правой руки, направив четыре пальца по току в витках, то отставленный большой палец укажет направление магнитных линий внутри соленоида.



МАГНИТНОЕ ДЕЙСТВИЕ КАТУШКИ С ТОКОМ Рассмотрим, при каких условиях действие магнитного поля катушки с током может усиливаться или ослабевать.

Соберём цепь из источника тока, ключа и катушки. Будем поочерёдно подключать катушки с разным количеством витков.

Катушка с бóльшим количеством витков при протекании тока по ней притягивает большее количество мелких железных предметов, чем катушка с меньшим количеством витков. Поэтому можно сказать, что *магнитное действие катушки с током тем сильнее, чем больше в ней витков*.

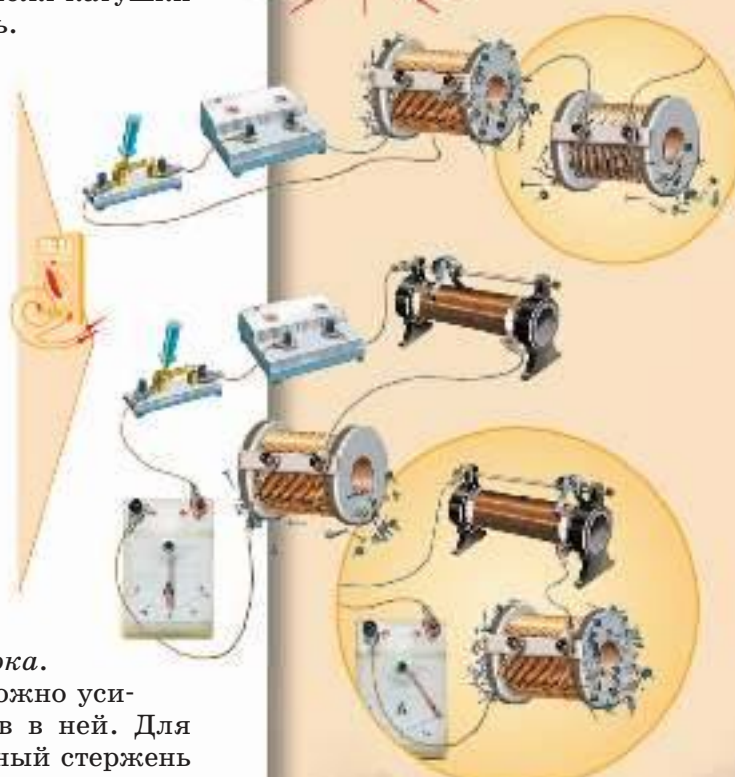
Продолжим опыт. Соберём цепь из источника тока, ключа, катушки, амперметра и реостата. С помощью реостата будем изменять силу тока в цепи. При увеличении силы тока катушка притягивает всё больше металлических предметов. *Магнитное действие катушки с током тем больше, чем больше значение силы тока*.

Магнитное действие катушки с током можно усилить, не меняя силу тока и число витков в ней. Для этого нужно ввести внутрь катушки железный стержень (сердечник). Катушка с железным сердечником внутри называется **электромагнитом**.

Электромагниты широко применяются в технике. Например, их используют для подъёма и переноски тяжёлых стальных или чугунных грузов. При включении тока эти предметы притягиваются к электромагниту, при выключении — свободно отсоединяются.



Огромные электромагниты используют в современных экспериментальных физических установках, например на Большом адронном коллайдере. Магнитное поле, создаваемое катушкой с током, размеры которой сравнимы с многоэтажным домом, помогает управлять движением заряженных частиц и изучать их свойства.



ВОПРОСЫ:

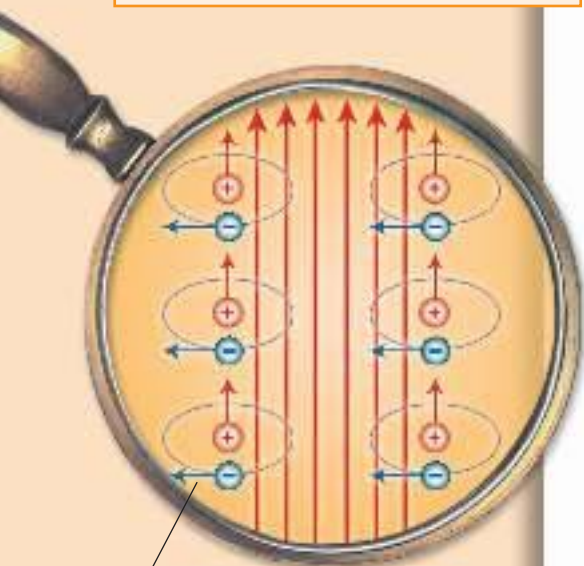
- Как ориентирована катушка с током, подвешенная на длинных и тонких проводниках?
- Как формулируется правило правой руки?
- Какими способами можно усилить магнитное действие катушки с током?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое постоянные магниты.
- Какими свойствами обладают постоянные магниты.
- Что собой представляют силовые линии магнитного поля постоянных магнитов

ВСПОМНИТЕ:

- При каких условиях возникает магнитное поле?
- Как графически изображается магнитное поле?



Направление движения электронов

**ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ**

На предыдущем уроке мы познакомились с электромагнитами, которые приобретают магнитные свойства лишь при включении тока. Но в природе существуют вещества, которые длительное время могут сохранять намагниченность.

ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ В природе существуют лишь три металла — кобальт, железо и никель — которые остаются намагниченными, если находящийся рядом с ними магнит убирают. Тела, длительное время сохраняющие намагниченность, называют **постоянными магнитами** или **магнитами**.

К магниту прилипают гвозди, канцелярские скрепки и другие предметы из железа, никеля и стали. Любой кусок железа или стали становится магнитом, если по нему несколько раз провести в одном направлении концом постоянного магнита.

В первой половине XIX в., сразу после открытия Эрстедом действия тока на магнитную стрелку, Ампер исследовал магнитные взаимодействия и сделал вывод, что «все магнитные явления сводятся к чисто электрическим эффектам». Согласно гипотезе Ампера, в любом магните присутствует множество круговых электрических токов, действием которых и объясняются магнитные силы. Интересно, что, выдвигая свою гипотезу, Ампер ещё не знал ни о строении атома, ни о существовании электронов. Современная теория магнетизма подтвердила правильность предположения Ампера.

Движение электронов внутри атомов или молекул создаёт токи, которые называют **элементарными кольцевыми токами**. В магнитах эти токи ориентированы одинаково, поэтому магнитные поля, образующиеся вокруг каждого такого тока, имеют одинаковое направление. Они усиливают друг друга, создавая поле вокруг и внутри магнита.

СЕВЕРНЫЙ И ЮЖНЫЙ ПОЛЮС МАГНИТА Положим магнит в коробочку с мелкими железными опилками. Если мы достанем магнит, то увидим, что опилки прилипают не ко всей поверхности магнита, а лишь к некоторым его частям.



Те места магнита, которые оказывают наиболее сильное магнитное действие, называют **полюсами магнита**. У каждого магнита обязательно есть два полюса: *северный* (N) и *южный* (S). Красным цветом окрашивают южный полюс магнита, синим — северный.

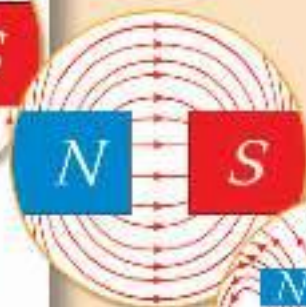
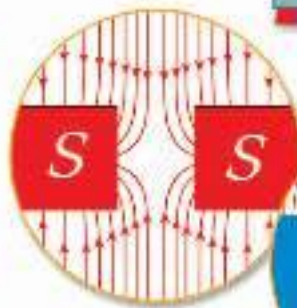
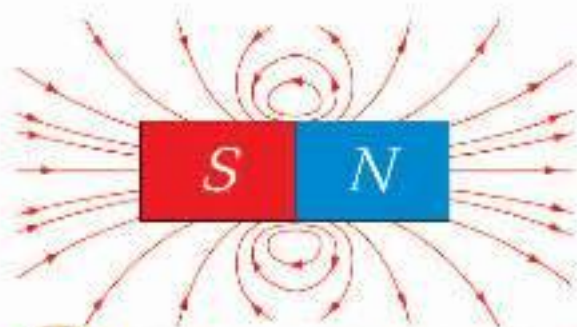
Получить магнит с одним полюсом невозможно. Если магнит разделить на две части, то каждая из них окажется магнитом с двумя полюсами.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАГНИТОВ Если к магнитной стрелке поднести магнит, то можно заметить, что северный полюс стрелки будет притягиваться к южному полюсу магнита и отталкиваться от его северного полюса. Южный полюс стрелки будет отталкиваться от южного полюса магнита и притягиваться к его северному полюсу.

Таким образом, *разноимённые магнитные полюсы притягиваются, одноимённые отталкиваются.*

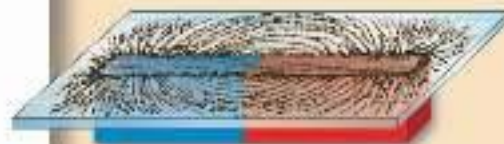
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ Взаимодействие магнитов объясняется тем, что вокруг любого магнита существует *магнитное поле*. Выясним, как располагаются линии магнитного поля постоянных магнитов. Положим магнит на стол и накроем его стеклом. Насыпав на стекло железные опилки, мы получим картину магнитного поля постоянного магнита. Аналогично можно получить линии магнитного поля двух магнитов, обращённых друг к другу одноимёнными и разноимёнными полюсами.

Силовые линии магнитного поля постоянного магнита, как и силовые линии магнитного поля тока, являются замкнутыми линиями. Вне магнита магнитные линии выходят из северного полюса магнита и входят в южный, замыкаясь внутри магнита, так же как магнитные линии катушки с током.



Исследования последних лет подтвердили предположения учёных о существовании дрейфа континентов.

По характеру намагниченности железных месторождений, возникших несколько сотен миллионов лет назад, рядом учёных была высказана гипотеза о существовании некогда в Южном полушарии единого гигантского континента, который позже раскололся на Южную Америку, Африку, Австралию и Антарктиду.



ВОПРОСЫ:

- Какие тела называют постоянными магнитами?
- Что называют полюсами магнита?
- Как направлены магнитные линии магнитного поля постоянных магнитов?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Где находятся магнитные полюсы Земли.
- Что такое магнитные аномалии.
- Почему возникают магнитные бури.

ВСПОМНИТЕ:

- Как взаимодействуют два постоянных магнита?

В точках магнитного полюса Земли свободно подвешенная на нити магнитная стрелка должна устанавливаться вертикально, так как именно в этих точках магнитные линии входят или выходят из неё.

Магнитный полюс Земли

Географический полюс Земли



Учёным уже давно известно, что магнитные полюса Земли не стоят на месте. Выяснилось, что северный магнитный полюс движется на север и при этом немного смещается к западу. Поначалу скорость его движения составляла 10 км в год, а за последние годы она увеличилась и достигла 40 км в год. Может изменяться и направление магнитного поля Земли, когда северный и южный магнитные полюса меняются местами. Но такие изменения ещё ни разу не происходили за всю историю человечества.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Как свидетельствует история, люди бесстрашно покоряли морские просторы и совершали дальние плавания уже в глубокой древности. Прибором, позволяющим ориентироваться в пространстве и находить нужное направление движения, был компас. Действие компаса основано на магнитном взаимодействии, обусловленном существованием у Земли магнитного поля. Экспериментально установлено, что наша планета является большим магнитом.

МАГНИТНЫЕ ПОЛЮСЫ ЗЕМЛИ Как и любое магнитное поле, магнитное поле Земли можно представить при помощи силовых линий. Именно поэтому магнитная стрелка компаса устанавливается вдоль силовых линий магнитного поля Земли.

Разноимённые полюса магнитов притягиваются, поэтому северный полюс магнитной стрелки указывает направление на южный магнитный полюс Земли. Этот полюс удалён от Северного географического полюса примерно на 2100 км.

Если изображать магнитное поле Земли графически, то в районе Северного полюса магнитные линии вертикальны и входят в Землю.

Северный магнитный полюс находится вблизи Южного географического полюса. Здесь магнитные линии выходят из Земли.

Магнитные полюсы Земли не совпадают с её географическими полюсами. Это приводит к тому, что направление стрелки компаса не совпадает с направлением географического меридиана, и она показывает на Север не точно, а лишь приблизительно.



В 1600 г. в Лондоне вышел фундаментальный труд Уильяма Гильберта «О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле». В нём содержалось описание более 600 опытов, которые были им поставлены. Проанализировав результаты этих опытов, именно Гильберт установил, что у магнита всегда есть два полюса — северный и южный, а также тот факт, что одноимённые полюса отталкиваются, а разноимённые притягиваются. Он изготовил модель Земли — небольшой шар из намагниченного железа, и изучал его магнитные свойства. Таким образом, он сделал важное открытие: наша планета представляет собой большой магнит. В его опытах миниатюрная магнитная стрелка указывала на полюс модели, подобно тому как стрелка компаса указывает на полюс Земли.

МАГНИТНЫЕ АНОМАЛИИ На поверхности Земли имеются территории, где её собственное магнитное поле сильно искажено магнитным полем железных руд, залегающих на небольшой глубине.

Такие области называют областями **магнитной аномалии** (от лат. *anomalía* — отклонение). Одна из таких территорий — **Курская магнитная аномалия**.

МАГНИТНЫЕ БУРИ Магнитное поле Земли с течением времени изменяется. Это подтверждено многолетними наблюдениями. Учёные различают изменения, происходящие в течение столетий, одного года, а также в пределах одних суток. Все эти изменения невелики и происходят постепенно.

Но есть изменения, имеющие другую природу. Они заключаются в том, что магнитное поле Земли за короткий срок меняется достаточно сильно. Такое явление называют **магнитной бурей**.

Магнитные бури связаны с усилением солнечной активности. Обычно они длятся от 6 до 12 часов, и затем магнитное поле Земли возвращается в первоначальное состояние.

В моменты солнечной активности с поверхности Солнца выбрасываются значительные потоки заряженных частиц. Поскольку любой движущийся заряд создаёт магнитное поле, то магнитное поле этих потоков частиц изменяет магнитное поле вблизи поверхности Земли, что и является причиной магнитных бурь.

Потоки заряженных частиц от Солнца, взаимодействуя с магнитным полем Земли, нарушают его симметрию. Оно намного дальше распространяется в пространстве с той стороны планеты, которая обращена от Солнца.

В то же время магнитное поле Земли, взаимодействуя с заряженными частицами, отклоняет их от первоначального направления в районы магнитных полюсов. В этих регионах Земли частицы влетают в верхние слои атмосферы, вызывая их ионизацию. Это приводит к возникновению красивейших явлений природы — **полярных сияний**.



Ряд планет Солнечной системы имеют собственные магнитные поля, или, как говорят, собственные магнитосферы.

Правда, наши ближайшие соседи — Луна, Венера и Марс — не имеют магнитных полей, подобных земному. Существует и такое понятие, как магнитосфера Солнца. Силовые линии магнитного поля Солнца представляют собой своеобразные спирали, закрученные вращением Солнца вокруг своей оси.

Протяжённость магнитосферы Солнца весьма значительна — она охватывает практически всю Солнечную систему.

Несимметричность магнитного поля Земли



Установлено, что магнитное поле Земли является своеобразным экраном, препятствующим проникновению в атмосферу потока заряженных частиц из космоса, которые губительно действуют на живые организмы.

Силовые линии магнитного поля Солнца



ВОПРОСЫ:

- Где расположены магнитные полюсы Земли?
- Что такое области магнитных аномалий?
- Чем объясняется появление магнитных бурь?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как магнитное поле действует на проводник с током.
- Как магнитное поле действует на рамку с током.
- Что такое сила Ампера и как определить её направление.
- Как устроены электродвигатели.

ВСПОМНИТЕ:

- Как проводник с током действует на магнитную стрелку?
- Что такое постоянные магниты?

ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Опыт Эрстеда показал, что вокруг проводника с током создается магнитное поле, которое вызывает отклонение магнитной стрелки.

СИЛА АМПЕРА Можно наблюдать обратное результатам опыта Эрстеда явление, когда поле магнита действует на проводник с током.

Проводник, подключённый к источнику тока, подвесим на тонких проводах. При замыкании цепи проводник двигаться не будет. Но если его поместить между

полюсами магнита, то проводник отклонится от своего первоначального положения. Направление движения проводника зависит от направления тока в нём и расположения полюсов магнита.

Проведённый опыт показывает, что *магнитное поле действует с некоторой силой на любой проводник с током, находящийся в этом поле.*

Эту силу называют **силой Ампера**, по имени учёного, который впервые обнаружил действие магнитного поля на проводник с током.

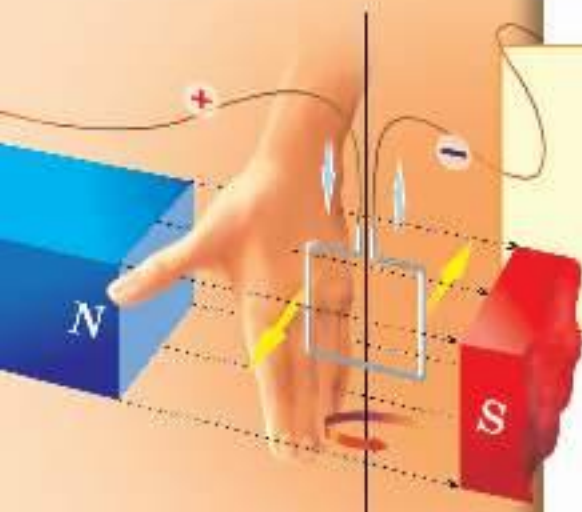
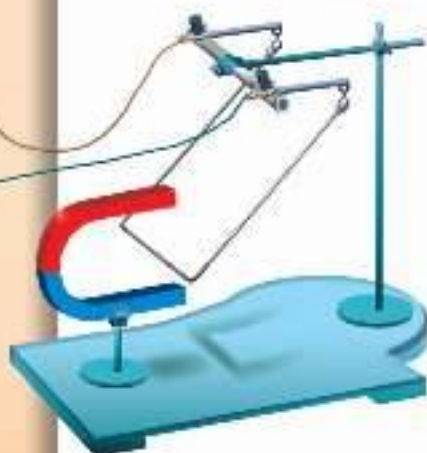
Как мы видели из опыта, направление силы Ампера зависит от направления тока в проводнике и от направления линий магнитного поля.

Направление силы Ампера можно определить с помощью **правила левой руки**:

если левую руку расположить так, чтобы линии магнитного поля входили в ладонь перпендикулярно к ней, а четыре пальца были направлены по току, то отставленный на 90° большой палец покажет направление действующей на проводник силы.

ВРАЩЕНИЕ РАМКИ С ТОКОМ В ряде технических устройств широко используется вращение проводника с током в форме рамки, помещённой в магнитное поле.

Вместо проволоки подключим к источнику тока лёгкую проволочную рамку прямоугольной формы. Поместив слева и справа от неё магниты, замкнём цепь и увидим,



что рамка повернётся. Если изменить направление тока, то рамка повернётся другой стороной.

Вращение рамки с током можно объяснить тем, что на правую и на левую сторону рамки действуют силы Ампера, направленные в противоположные стороны. Под действием этих сил и происходит вращение рамки. Таким образом, *магнитное поле оказывает вращающее действие на рамку с током*.

Свойство рамки с током вращаться в магнитном поле используется в электроизмерительных приборах, таких, как вольтметр и амперметр. Рассмотрим принцип действия таких приборов.

Между полюсами *дугообразного магнита* находится рамка, удерживаемая в положении равновесия *пружиной*. К рамке прикреплена *стрелка*, движущаяся по *шкале*.

При протекании через этот прибор электрического тока рамка под действием силы Ампера поворачивается и вызывает отклонение стрелки.

При выключении тока пружина возвращает стрелку к нулевой отметке шкалы.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ Вращение рамки в магнитном поле используется также и в электрических двигателях.

Электрический двигатель — это устройство, преобразующее электрическую энергию в механическую работу. Основными частями электродвигателя являются *статор* и *ротор*.

Статор (от лат. *stator* — неподвижный) представляет собой корпус цилиндрической формы, на котором укреплены обмотки, надетые на стальные сердечники. Когда по обмоткам протекает постоянный ток, внутри корпуса возникает магнитное поле.

Ротор (от лат. *roto* — вращающийся), или якорь двигателя, представляет собой совокупность большого числа рамок, по которым пропускают постоянный ток. Магнитное поле статора действует на рамки, и якорь приходит во вращение.

Чтобы якорь вращался непрерывно, на оси ротора закрепляют коллекторные пластины, которые изменяют направление тока в витках якоря.

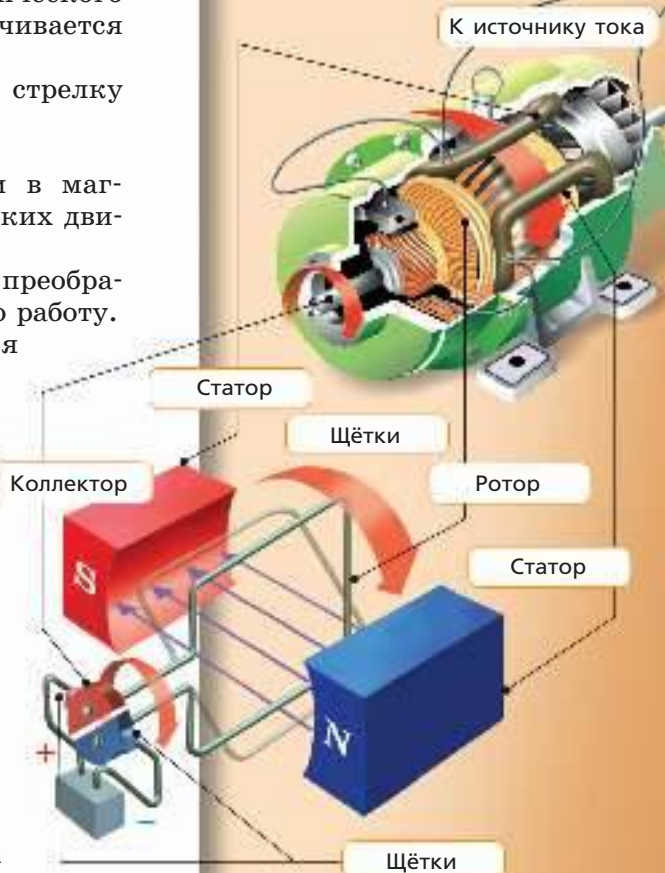
Один из первых электродвигателей построил русский учёный, академик Б. С. Якоби в 1834 г. С тех пор электродвигатели получили самое широкое распространение в технике, быту и на транспорте.

В отличие от тепловых двигателей электрические двигатели не выделяют в процессе работы вредных газов, дыма и пара и, следовательно, не загрязняют окружающую среду. КПД электрических двигателей существенно превышает КПД тепловых механизмов.



Борис Семёнович Якоби
(1801—1874)

Русский физик и электротехник, изобрёл электродвигатель, гальванотехнику, исследовал электромагниты.



ВОПРОСЫ:

- В чём проявляется действие магнитного поля на проводник с током?
- Какая сила называется силой Ампера?
- Что такое электрический двигатель?



ПРОВОДНИК С ТОКОМ



РАМКА С ТОКОМ



КАТУШКА С ТОКОМ



ПОСТОЯННЫЙ МАГНИТ

Международный
научно-образовательный
интернет-журнал
для школьников
<http://oscteam.com/>

Электронная библиотека
«Наука и техника»
<http://n-t.ru/>

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Вокруг движущихся электрических зарядов существует и электрическое, и магнитное поле.
- Линии, вдоль которых в магнитном поле располагаются оси маленьких магнитных стрелок, называют силовыми линиями магнитного поля.
- Магнитное поле можно усилить, если провод, по которому идёт ток, свернуть в форме винтовой спирали. Катушка с железным сердечником внутри называется электромагнитом.
- Те места магнита, которые оказывают наиболее сильное магнитное действие, называют полюсами магнита.
- Разноимённые магнитные полюсы притягиваются, одноимённые отталкиваются.
- Силой Ампера называется сила, с которой магнитное поле действует на любой проводник с током, находящийся в этом поле.



«ПОДРОБНЕЕ...»

Перельман Я. И. Занимательная физика. Кн. 2. — М.: Римис, 2010.

Суорц Кл. Э. Необыкновенная физика обыкновенных явлений. Т. 2. — М.: Наука, 1987.

Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 2. Электричество и магнетизм. Термодинамика и квантовая механика. Физика ядра и элементарных частиц. — М.: Аванта+, 200.

Энциклопедия для детей. Т. 14. Техника — М.: Аванта+, 2001.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Как можно обнаружить провод с током, если он находится под землёй или зацементирован в полу? Считать, что используемые вами приборы обладают нужной чувствительностью.
- Почему ход стрелок часов был нарушен после того, как часы поднесли к сильному магниту?
- Как узнать, намагничены или нет лезвия ножниц?
- Изменится ли направление вращения рамки с током, если изменить направление тока в рамке?



ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ

- СИСТЕМА ОТСЧЁТА.
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ
- ПЕРЕМЕЩЕНИЕ И ОПИСАНИЕ
ДВИЖЕНИЯ
- ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
РАВНОМЕРНОГО
ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ
- СКОРОСТЬ
ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ
ДВИЖЕНИИ
- УСКОРЕНИЕ И СКОРОСТЬ
ПРИ РАВНОПЕРЕМЕННОМ
ДВИЖЕНИИ
- ПЕРЕМЕЩЕНИЕ
ПРИ РАВНОПЕРЕМЕННОМ
ДВИЖЕНИИ
- РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

Если из двух человек один движется с кораблём, а второй стоит неподвижно на берегу... то нет никакого преимущества ни в движении первого, ни в покое второго.

Р. Декарт

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое поступательное движение.
- Что такое система отсчёта.
- Что такое перемещение.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое механическое движение?
- Что такое относительность движения?
- Что такое тело отсчёта?
- Что такое система координат?

Декартова система координат



Трёхмерная система координат



СИСТЕМА ОТСЧЁТА. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

Девизом легендарного корабля «Наутилус», который придумал выдающийся писатель-фантаст Жюль Верн, стали слова «*Mobiles in Mobile*» — подвижный в подвижном. Этот девиз удивительно точно описывает непрерывное движение, происходящее в окружающем нас мире.

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ Движение тел изучается в разделе физики, который называют **механикой**. Для изучения движения тел необходимо научиться его описывать. Сначала мы научимся описывать движение тела без исследования причин, его вызывающих.

Раздел механики, в котором рассматривается движение тел без выяснения причин этого движения, называют **кинематикой** (от греч. *kinema* — движение). Раздел механики, в котором изучаются причины движения, называют **динамикой** (от греч. *dinamis* — сила).

ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ При движении тела траектории различных его точек могут быть различны. Например, точки на оси вращения движущегося колеса и на его ободе описывают разные траектории.

Наиболее простое движение тела — это такое движение, при котором все его точки движутся одинаково, описывая одинаковые траектории. Такое движение называют **поступательным**. Например, машина движется прямолинейно по автомагистрали. В любой момент времени все точки её кузова движутся одинаково.

При поступательном движении все точки тела описывают одинаковые траектории и в каждый момент времени имеют одинаковые скорости и ускорения.

ДВИЖЕНИЕ ТОЧКИ Для описания движения тела нужно знать, как движутся различные его точки. Ранее уже говорилось о том, что в некоторых случаях размеры тела можно не принимать во внимание и рассматривать его как точку. Важно понимать, что, даже если мы не пренебрегаем размерами тела и не считаем его точечным, при поступательном движении достаточно описать движение одной из точек этого тела, поскольку все его точки движутся одинаково.

СИСТЕМА ОТСЧЁТА Для определения положения тела в пространстве используют *системы координат, связанные с телом отсчёта*.

При прямолинейном движении тела для определения его положения достаточно одной координатной оси. Например, если автомобиль движется по прямой дороге, то его движение описывается одной координатой. Одной координатой можно также описать прямолинейное движение тележки по столу.

Для описания движения на плоскости используется прямоугольная система координат, состоящая из двух взаимно перпендикулярных осей, такую систему ещё называют *декартовой системой координат*.

Например, когда автомобиль едет из одного города в другой, его движение, как правило, является криволинейным и описывается двумя координатами.

В случае когда тело перемещается в пространстве, необходимо использовать трёхмерную систему координат. Это нужно, например, для описания движения самолёта, космического корабля и т. д.

Однако в задачах, требующих определения пути, пройденного телом за определённый промежуток времени, или его скорости, одной системы координат недостаточно. Кроме этого, необходимы ещё приборы для измерения времени — **часы**.

Система координат, связанная с телом отсчёта, и часы для отсчёта времени образуют систему отсчёта, позволяющую определять положение движущегося тела в любой момент времени.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ При механическом движении положение тела в пространстве изменяется. Раньше мы использовали понятие пути — длины траектории, пройденной телом за время наблюдения.

Путь является величиной *скалярной*, т. е. не имеющей направления.

Однако для решения практических задач недостаточно знать только путь.

Например, из лыжной базы вышел лыжник и за 2 ч прошёл путь, равный 15 км. Как определить, куда он пришёл? Он мог дойти до города — путь *Б*, а мог вернуться обратно — путь *А*. Лыжник мог оказаться в любой точке внутри круга радиусом 15 км.

Чтобы избежать такой неопределённости, вводится понятие *перемещения*.

Перемещение — направленный отрезок, соединяющий начальное и конечное положения тела.

Таким образом, перемещение — величина векторная, т. е. имеющая направление и модуль. Модуль перемещения показывает расстояние между начальной и конечной точками движения.

Перемещение обозначается символом $\vec{s}$, а его модуль обозначается либо s , либо $|\vec{s}|$.

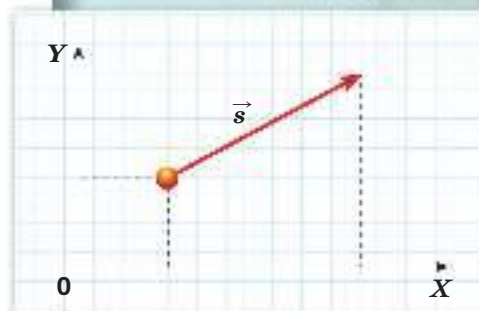
Единицей перемещения (его модуля), как и единицей пути, является *метр*.

Изменение положения тела в пространстве можно изобразить графически, используя понятие перемещения и систему координат. Для этого надо соединить точку, соответствующую начальному положению тела, с точкой, соответствующей конечному положению тела. Если известно начальное положение тела и вектор перемещения, можно однозначно определить конечное положение тела в пространстве.

Любую векторную величину можно изобразить графически в виде вектора. **Вектор** — это направленный отрезок. Он всегда имеет начало и конец. Вектор характеризуется *направлением* и *длиной*. Длину вектора также называют его *модулем* или *значением*.



Путь и перемещение лыжника



Вектор перемещения

ВОПРОСЫ:

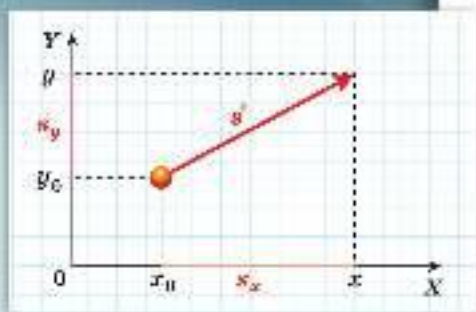
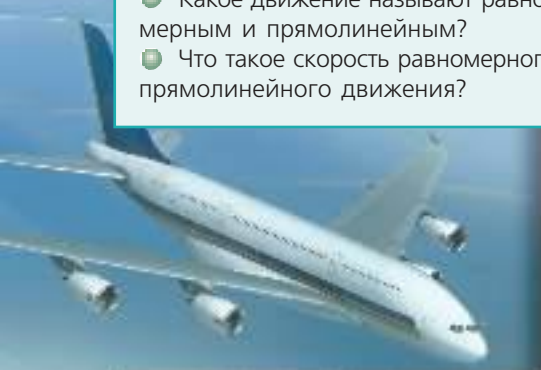
- Что называют поступательным движением?
- Что образует систему отсчёта?
- Что такое перемещение?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как определить координаты тела, движущегося равномерно и прямолинейно.
- Что такое уравнение движения.

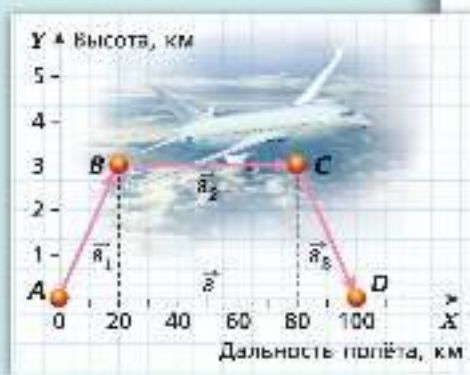
ВСПОМНИТЕ:

- Что такое система отсчёта?
- Что такое перемещение?
- Какое движение называют равномерным и прямолинейным?
- Что такое скорость равномерного прямолинейного движения?



Проекция вектора перемещения на координатной плоскости

График движения самолёта



ПЕРЕМЕЩЕНИЕ И ОПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ

Система отсчёта используется для того, чтобы определить положение тела в пространстве в некоторый момент времени. В случае когда тело движется, возникает задача вычисления его координат в некоторые моменты времени.

ПРОЕКЦИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ НА КООРДИНАТНЫЕ ОСИ Если известен вектор перемещения тела, то при расчётах, как правило, используют не координаты вектора, как такового, а его *проекции* на оси координат. Если опустить перпендикуляры из начала и конца вектора перемещения $\vec{s}$ на координатную ось X , то получится отрезок s_x , который называют *проекцией перемещения*. При этом проекция вектора на ось считается положительной, если координата конца вектора перемещения оказывается больше координаты его начала. В противном случае проекция считается отрицательной.

Если вектор и ось параллельны, то длина вектора равна его проекции на эту ось.

Проекция перемещения на координатной оси



При решении многих задач необходимо уметь находить проекции вектора перемещения на координатные оси. Если $(x_0; y_0)$ и $(x; y)$ — координаты начала и конца вектора, то его проекции на оси абсцисс и ординат будут равны соответственно

$$s_x = x - x_0, \quad (1)$$

$$s_y = y - y_0.$$

Зная проекции вектора перемещения, можно найти его длину (модуль) по теореме Пифагора:

$$s^2 = s_x^2 + s_y^2.$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ДВИЖУЩЕГОСЯ ТЕЛА И ЕГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ Если тело движется прямолинейно, то траектория его движения совпадает с перемещением. При этом пройденный телом путь равен значению модуля вектора перемещения.

А как описать движение тела в более сложном случае? На рисунке представлен график движения самолёта. Сначала он набирал высоту, двигаясь из точки A в точку B , затем двигался на одной и той же высоте (до точки C) и, наконец, приземлился в точке D . На какой высоте проходил полёт? Высоте полёта соответствуют координаты по оси OY , значит, в точке B самолёт набрал высоту 3 км.

Теперь ответим на вопрос: какой путь проделал самолёт на этой высоте? Проекция перемещения

$$s_{2x} = 80 - 20 = 60 \text{ км.}$$

Так как всё это время самолёт двигался параллельно оси OX , длина вектора перемещения равна его проекции на эту ось. Следовательно, модуль перемещения самолёта из точки B в точку C равен 60 км. Этому же значению равен и путь самолёта из точки B в точку C .

И наконец, определим дальность полёта самолёта. Для этого нам надо найти модуль перемещения самолёта из точки A в точку D :

$$|\vec{s}| = s_x = 100 - 0 = 100 \text{ км.}$$

Таким образом, при помощи перемещения и его проекций мы описали сложное движение самолёта.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ И СКОРОСТЬ ПРИ РАВНОМЕРНОМ ПРЯМОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ

Так как при прямолинейном движении пройденный телом путь равен значению модуля вектора перемещения, мы можем сказать, что скоростью равномерного прямолинейного движения называют векторную величину, равную отношению перемещения тела ко времени, за которое это перемещение произошло. При равномерном прямолинейном движении векторы скорости и перемещения направлены в одну сторону. Зная скорость равномерного движения, можно найти перемещение тела за любой промежуток времени:

$$\vec{s} = \vec{v}t. \quad (2)$$

Поскольку скорость $\vec{v}$ является векторной величиной, её тоже можно изобразить графически. Обозначим её проекцию на координатную ось v_x . Если направление координатной оси совпадает с направлением движения тела, то для расчёта перемещения тела можно использовать формулу

$$s_x = v_x t. \quad (3)$$

УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ Уравнение зависимости координаты тела от времени называют **уравнением движения**.

Пусть тело совершило перемещение $\vec{s}$. Направим координатную ось X по направлению перемещения тела. Обозначим начальную координату тела x_0 , а конечную координату тела x . Тогда по формуле (1)

$$s_x = x - x_0.$$

Но по формуле (3) $s_x = v_x t$. Следовательно,

$$\begin{aligned} x - x_0 &= v_x t, \\ x &= x_0 + v_x t. \end{aligned} \quad (4)$$

Таким образом, координату тела при равномерном прямолинейном движении в любой момент времени можно определить, если известны его начальная координата и проекция скорости движения на ось X .

Если обозначить величины: скорость — $\vec{v}$, перемещение — $\vec{s}$, время — t , то скорость прямолинейного равномерного движения рассчитывают по формуле

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}.$$

Ранее при решении задач мы использовали формулу $s = vt$ без стрелочек. Почему?

Символом s здесь обозначался путь, пройденный телом, а символом v — модуль скорости. Теперь нам известно, что при равномерном прямолинейном движении путь равен модулю перемещения. Поэтому если нас не интересует направление движения тела, а необходимо только найти его путь, то эта формула поможет нам найти решение.



ВОПРОСЫ:

- Что такое проекция перемещения на координатную ось?
- Чему равна скорость при равномерном прямолинейном движении?
- Что собой представляет уравнение движения?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

Какие графики используют для получения представления о равномерном прямолинейном движении.

ВСПОМНИТЕ:

- Что образует систему отсчёта?
- Что такое скорость равномерного прямолинейного движения?

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РАВНОМЕРНОГО ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ

Построение графиков широко используется в физике для наглядного представления различных физических процессов. Графики помогают лучше понять физическое явление, проанализировать его и найти ответы на поставленные вопросы.

ПРИМЕР ОПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ В ВЫБРАННОЙ СИСТЕМЕ

ОТСЧЁТА Два поезда выехали навстречу друг другу. Первый поезд выехал со станции *A* по направлению к станции *D*. Второй поезд выехал со станции *D* к станции *A*. У станции *C*, находящейся в 40 км от станции *A*, они встретились. По прошествии некоторого времени *t* первый поезд доехал до станции *D*, а второй поезд проехал станцию *B*. Расстояние между станциями *B* и *C* равно 20 км. Расстояние между станциями *C* и *D* равно 30 км. Определим координаты каждого поезда относительно станции *A* и расстояние между ними через время *t*.

Пусть направление координатной оси совпадает с направлением от *A* к *D*, а начало отсчёта $x = 0$ совпадает с точкой *A*. Обозначим $x_0 = x_C = 40$ км — координата поездов во время их встречи. Проекция перемещения первого поезда положительна:

$$s_{1x} = x_1 - x_0, s_{1x} > 0,$$

а проекция перемещения второго поезда имеет отрицательный знак:

$$s_{2x} = x_2 - x_0, s_{2x} < 0.$$

Координаты поездов x_1 и x_2 соответственно равны

$$x_1 = x_0 + s_{1x},$$

$$x_2 = x_0 + s_{2x}.$$

Подставив данные задачи в формулы, получим, что координата первого поезда через время *t*:

$$x_1 = 40 \text{ км} + 30 \text{ км} = 70 \text{ км}.$$

Координата второго поезда через время *t*:

$$x_2 = 40 \text{ км} - 20 \text{ км} = 20 \text{ км}.$$

Из курса математики известно, что расстояние между точками на оси равно модулю разности их координат. Итак, расстояние между поездами через время *t* равно

$$l = |x_1 - x_2|, \\ l = |70 \text{ км} - 20 \text{ км}| = 50 \text{ км}.$$

Рассмотрим проекции скоростей поездов на ось, направление которой совпадает с направлением движения первого поезда.

Проекция скорости первого поезда v_{1x} в этом случае будет положительной, а проекция скорости второго поезда v_{2x} — отрицательной. Здесь отрицательное значение проекции скорости означает, что движение происходит в направлении, противоположном направлению оси.

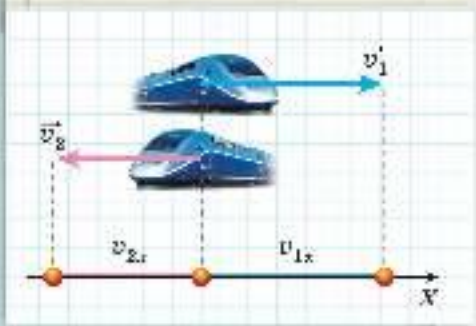
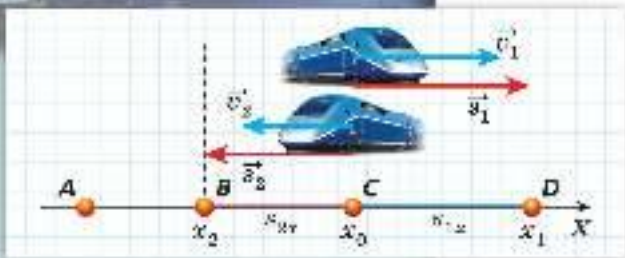


ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ

При равномерном движении скорость тела с течением времени остается неизменной a . Поэтому график зависимости модуля вектора скорости от времени t — это прямая, параллельная оси абсцисс. Зафиксируем время, прошедшее от начала движения, и опустим перпендикуляр из выбранной точки на график скорости. Площадь полученного прямоугольника равна произведению vt . Но нам известно, что $s = vt$. Следовательно, эта площадь равна модулю перемещения.

Итак, при прямолинейном равномерном движении модуль вектора перемещения численно равен площади прямоугольника под графиком скорости.

Давайте опишем движение тела по приведённому на рисунке b графику зависимости скорости движения от времени. При этом считаем, что тело двигалось прямолинейно. В разные промежутки времени, каждый из которых равен $\Delta t = 1$ ч, тело двигалось с различной скоростью. Сначала скорость тела была равна 40 км/ч, затем 60 км/ч, потом 80 км/ч и, наконец, 20 км/ч. При этом за первый час тело переместилось на $v_1\Delta t = 40$ км, за второй — на 60 км, за третий — на 80 км, за четвёртый — на 20 км. Таким образом, перемещение тела за 4 ч движения составило:

$$\begin{aligned} s &= v_1\Delta t + v_2\Delta t + v_3\Delta t + v_4\Delta t = \\ &= 40 + 60 + 80 + 20 = 200 \text{ км.} \end{aligned}$$

ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОТ ВРЕМЕНИ

График зависимости перемещения тела от времени при прямолинейном равномерном движении — это прямая, проходящая через начало координат b .

Давайте определим по данному графику скорость движения тела. Выберем на прямой точку A и определим перемещение s_1 и соответствующий момент времени t_1 . Скорость движения тела будет равна

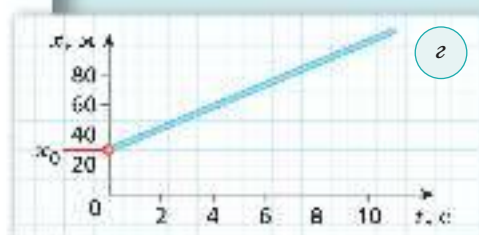
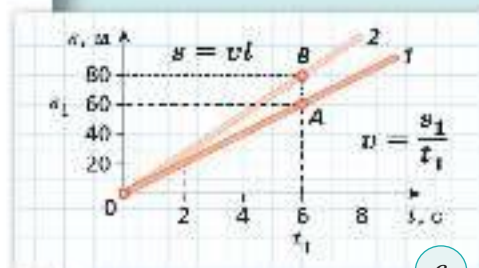
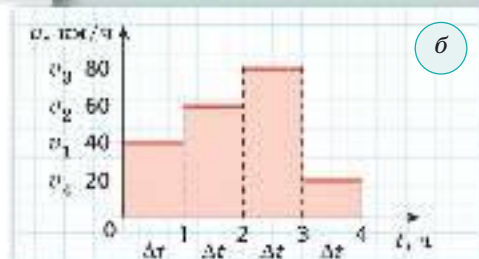
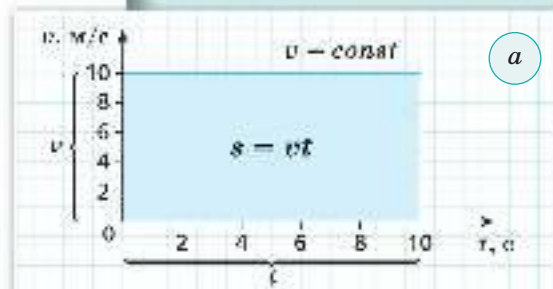
$$v = \frac{s_1}{t_1}.$$

Чем круче проходит график перемещения, т. е. чем больше его угол наклона к оси абсцисс, тем больше скорость движения тела. Действительно, точке B на прямой 2 соответствует большее перемещение s_2 за то же самое время t_1 , следовательно, график 2 описывает движение с большей скоростью.

ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ КООРДИНАТЫ ТЕЛА ОТ ВРЕМЕНИ

Зависимость координаты тела от времени описывается формулой $x = x_0 + v_x t$.

Поскольку эта зависимость линейная, то соответствующий график (график движения) представляет собой прямую линию z . В начальный момент времени $t = 0$ координата $x = x_0$.



ВОПРОСЫ:

- Как выглядит график зависимости скорости от времени при прямолинейном равномерном движении?
- Как по графику скорости определить перемещение при прямолинейном равномерном движении?

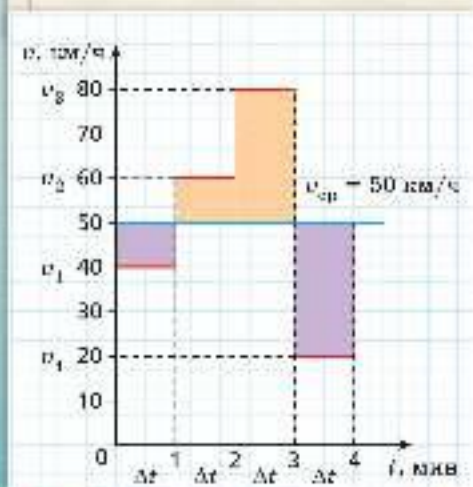
ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое мгновенная скорость.
- Как по графику скорости определить пройденный телом путь.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое средняя скорость?
- Что такое равномерное и неравномерное движение?
- Как определить скорость при равномерном движении?

Представим себе, что тело двигалось так, как изображено на графике красными отрезками. Как определить среднюю скорость его движения?



СКОРОСТЬ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ

В окружающем нас мире равномерное движение встречается нечасто. Обычно скорость тела изменяется с течением времени.

СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ НЕРАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ

В качестве примера неравномерного движения рассмотрим движение автобуса по шоссе. Начиная движение после остановки, автобус увеличивает свою скорость и, двигаясь далее, уменьшает свою скорость перед следующей остановкой. Он также может изменять скорость при пересечении перекрёстков, у светофора и т. п.

Необходимо чётко понимать, что когда мы говорим о скорости неравномерного движения, то имеем в виду скорость тела именно в данный момент времени. Однако если мы хотим охарактеризовать неравномерное движение в целом за данный промежуток времени, то вводится понятие *средней скорости*.

Средней скоростью неравномерного движения называют физическую величину, равную отношению пути, пройденного телом, ко времени, за которое этот путь был пройден:

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{\Delta t}.$$

При таком способе описания движения мы фактически заменяем неравномерное движение равномерным, скорость которого равна средней скорости неравномерного движения.

Так как средняя скорость равна отношению двух скалярных величин, она сама является величиной скалярной. Зная среднюю скорость неравномерного движения, можно делать выводы о том, насколько быстро или медленно движется тело.

МГНОВЕННАЯ СКОРОСТЬ

При движении тело проходит последовательно все точки траектории. В каждой точке оно находится в определённые моменты времени и имеет определённую скорость.

Скорость тела в данный момент времени или в данной точке траектории называют **мгновенной скоростью**.

Для уяснения смысла мгновенной скорости потребуются дополнительные рассуждения. Например, как определить мгновенную скорость автобуса в некоторый момент времени t , соответствующий началу торможения?

По мере уменьшения промежутков времени фактическое движение в пределах каждого отдельного промежутка времени будет всё меньше отличаться от равномерного, и наконец отличие перестанет улавливаться приборами.

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_1 \cdot \Delta t + v_2 \cdot \Delta t + v_3 \cdot \Delta t + v_4 \cdot \Delta t}{4\Delta t} = \frac{1}{4} (v_1 + v_2 + v_3 + v_4) = 50 \text{ км/ч}$$

В пределах малых промежутков времени, столь малых, что движение представляется равномерным, результат измерения можно относить к любому моменту времени в пределах рассматриваемого промежутка. Если движение равномерно, то его мгновенная скорость в любой момент времени равна скорости этого равномерного движения.

Для иллюстрации понятия мгновенной скорости Р. Фейнман использует пример с машиной, остановленной полицейским в момент превышения скорости. Если в данный момент времени мгновенная скорость равна, например, 90 км/ч, то это означает, что, если начиная с этого момента времени машина двигалась бы равномерно и прямолинейно, за следующую секунду она прошла бы 25 м, а в течение последующего часа — 90 км.



Интересно, что Галилей не пользовался такой физической величиной, как скорость. Рассуждения о природе движения проводились в виде анализа отношений однородных, имеющих одинаковую размерность величин. Впервые в современной форме записи скорость ввёл Л. Эйлер в 1765 г. в работе «Теория движения твёрдых тел». Он писал: «При равномерном движении отношение путей к промежуткам времени, в течение которых они проходятся, называется быстротой или скоростью...» Эйлер впервые записал $v = s/t$, и эта форма записи с тех пор не изменилась.

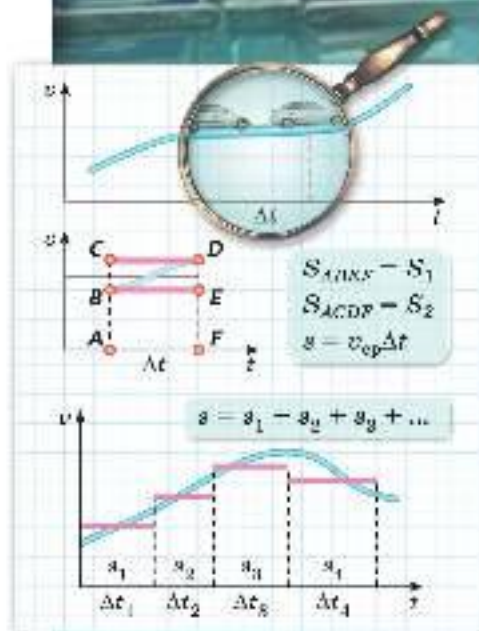
ГРАФИК СКОРОСТИ И ЗНАЧЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ Мы уже знаем, что при равномерном движении модуль перемещения равен площади под графиком скорости. Оказывается, при неравномерном движении это равенство также справедливо. При этом не имеет значения, как изменяется скорость с течением времени.

Построим график зависимости скорости от времени и разобьём весь интервал движения на отрезки Δt . Рассмотрим движение тела в отдельном промежутке времени Δt . Как определить площадь фигуры под графиком? Очевидно, что эта площадь больше площади прямоугольника S_1 и меньше площади прямоугольника S_2 ($S_{ABEF} = S_1$; $S_{ACDF} = S_2$).

Если выбирать промежуток времени Δt всё меньше и меньше, то скорость на каждом промежутке времени будет меняться всё меньше и меньше и площади S_1 и S_2 будут отличаться всё меньше и меньше. Наконец, для каждого промежутка времени площадь под графиком станет равна произведению высоты (мгновенной скорости) и основания (промежутка времени), т. е. площадь равна перемещению тела за этот промежуток времени. А площадь под всем графиком равна сумме площадей для каждого промежутка времени, т. е. *значение перемещения при неравномерном движении равно площади под графиком скорости.*

Леонард Эйлер
(1707—1783)

Великий математик, механик и физик, швейцарец по происхождению. В 1727 г. переехал в Россию. Здесь работал в Петербургской академии наук.



ВОПРОСЫ:

- Что такое мгновенная скорость?
- Как по графику скорости определить пройденный телом путь?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- О том, что ускорение — это векторная физическая величина.
- Как вычислить скорость прямолинейного равнопеременного движения.
- Что собой представляет график скорости прямолинейного равнопеременного движения.

ВСПОМНИТЕ:

- Какое движение называют равнопеременным?
- Что такое ускорение?
- Что такое линейная функция и как выглядит её график?

Если обозначить величины: скорость тела в начальный момент времени — $\vec{v}_0$, время движения — t , конечная скорость — $\vec{v}$, то **ускорение** рассчитывают по формуле

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}.$$

Ускорение за первые 2 с движения

$$a_x = \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2 \text{ с}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Ускорение за следующие 2 с движения

$$a_x = \frac{20 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2 \text{ с}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Ускорение в течение всего времени движения

$$a_x = \frac{30 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{6 \text{ с}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

УСКОРЕНИЕ И СКОРОСТЬ ПРИ РАВНОПЕРЕМЕННОМ ДВИЖЕНИИ

Примеров неравномерного движения в окружающем нас мире огромное количество. Давайте подробнее остановимся на движении, которое называется равнопеременным.

РАВНОУСКОРЕННОЕ И РАВНОЗАМЕДЛЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ

Предположим, в начале определённого отрезка времени мы движемся в автомобиле со скоростью v_0 . Автомобиль начинает увеличивать скорость, и через некоторое время она становится равной v . Если за любые одинаковые промежутки времени скорость этого автомобиля увеличивалась на одно и то же значение, то в течение времени t автомобиль двигался **равноускоренно**. При прямолинейном равноускоренном движении не только сама скорость, но и проекции вектора скорости за любые равные промежутки времени увеличиваются на одно и то же значение. Если за любые одинаковые промежутки времени скорость тела уменьшается на одно и то же значение, то говорят, что тело движется **равнозамедленно**.

УСКОРЕНИЕ — ВЕКТОРНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

Для того чтобы понять, как именно изменяется скорость тела при равнопеременном движении, необходимо найти его ускорение:

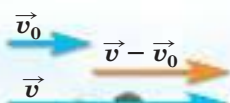
$$\text{ускорение} = \frac{\text{изменение скорости}}{\text{время}}.$$

В числителе формулы определения ускорения находится векторная величина ($\vec{v} - \vec{v}_0$), в знаменателе — скалярная (время t). Поэтому ускорение является векторной величиной, и для его определения необходимо найти его проекцию. Вычислить проекцию ускорения можно при помощи проекций векторов скорости:

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}.$$

Пусть автомобиль начинает своё движение в момент времени $t = 0$. В таблице приведены значения скорости движения автомобиля через равные промежутки времени. Видно, что за каждые 2 с движения скорость увеличивается на 10 м/с. Значит, автомобиль движется равноускоренно. Найдём ускорение, с которым движется автомобиль.

$v, \text{ м/с}$	0	10	20	30
$t, \text{ с}$	0	2	4	6



$\vec{v}_0$

$\vec{v}$

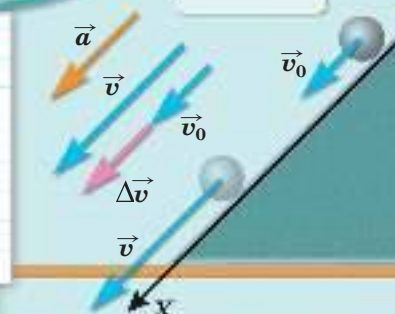
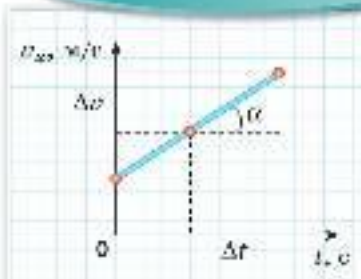
Направим ось X по направлению движения. Так как направления оси и вектора скорости совпадают, то значения проекции скорости на эту ось будут положительны и равны модулю вектора скорости.

Полученное положительное значение проекции ускорения говорит о том, что вектор ускорения имеет то же направление, что и вектор скорости.

Если тело ускоряется, т. е. модуль скорости движения тела возрастает, то направление вектора ускорения совпадает с направлением движения тела (с направлением вектора скорости). Если тело замедляет своё движение, т. е. модуль скорости движения тела уменьшается, то в этом случае направление вектора ускорения противоположно направлению движения тела (направлению вектора скорости).

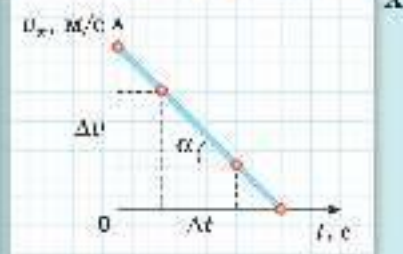
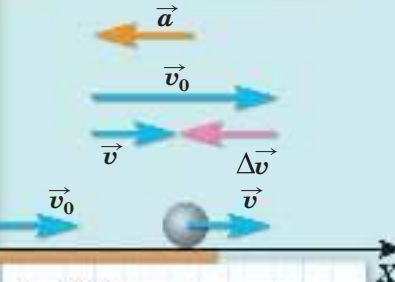
УСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ

$$a_x > 0$$



ЗАМЕДЛЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ

$$a_x < 0$$



СКОРОСТЬ РАВНОПЕРЕМЕННОГО ДВИЖЕНИЯ Преобразовав формулу для вычисления ускорения при прямолинейном равнопеременном движении, можно получить формулу для нахождения скорости в любой момент времени:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t.$$

Если в начальный момент тело покоилось ($\vec{v}_0 = 0$), то формула принимает вид

$$\vec{v} = \vec{a}t.$$

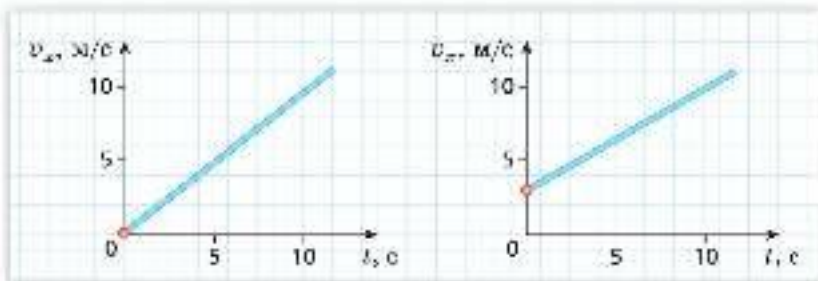
Используя значения проекций скорости и ускорения, получаем

$$v_x = v_{0x} + a_x t.$$

ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ПРОЕКЦИИ СКОРОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ

Функция $v_x = v_{0x} + a_x t$ — линейная. Её аргументом является время t , угловой коэффициент равен a_x , а свободный член — это v_{0x} .

Графиком данной функции является прямая линия, расположение которой по отношению к осям координат определяется значениями a_x и v_{0x} .



Если обозначить величины:

проекция скорости тела в начальный момент времени — v_{0x} , время движения — t , проекция ускорения — a_x , то **проекция конечной скорости** рассчитывается по формуле

$$v_x = v_{0x} + a_x t.$$

ВОПРОСЫ:

- Как найти ускорение?
- Почему ускорение является векторной величиной?
- Как найти скорость равноускоренного движения в произвольный момент времени?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

Как вычислить перемещение при прямолинейном равнопеременном движении.

ВСПОМНИТЕ:

Как вычислить скорость прямолинейного равнопеременного движения?

Что собой представляет график скорости прямолинейного равнопеременного движения?

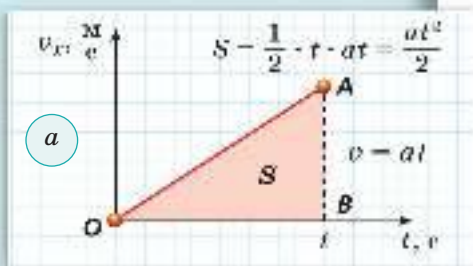


График зависимости скорости от времени



Если обозначить величины: время движения — t , значение ускорения — a , значение перемещения — s , то **значение перемещения тела**, движущегося прямолинейно и равноускоренно без начальной скорости, рассчитывают по формуле

$$s = \frac{at^2}{2}.$$

Чтобы найти среднюю скорость движения, надо перемещение разделить на время:

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t} = \frac{at^2}{2t} = \frac{at}{2} = \frac{v}{2},$$

т. е. если тело из состояния покоя начинает двигаться с ускорением a и через промежуток времени t его скорость становится равной v , то средняя скорость его движения равна $v/2$.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ПРИ РАВНОПЕРЕМЕННОМ ДВИЖЕНИИ

При изучении равнопеременного движения тела необходимо уметь находить значение его перемещения за любой промежуток времени. Для решения этой задачи нужно вспомнить, что значение перемещения тела как при равномерном, так и при неравномерном движении численно равно площади под графиком зависимости проекции вектора скорости тела от времени.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ТЕЛА, НАЧАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ КОТОРОГО РАВНА НУЛЮ

Если начальная скорость тела равна нулю и тело движется равноускоренно, то график зависимости проекции скорости от времени будет выглядеть так, как изображено на рисунке **а**. Для нахождения значения перемещения за время t необходимо найти площадь треугольника под графиком. Так как полученный треугольник прямоугольный, отрезок AB является его высотой, поэтому можно записать, что площадь треугольника равна

$$S = \frac{1}{2} OB \cdot AB.$$

Длина отрезка OB равна значению времени t . Длина отрезка AB равна значению скорости v , которую приобретёт тело, двигаясь в течение этого времени с ускорением a . Учитывая то, что $v_{0x} = 0$, можно записать:

$$v_x = a_x t.$$

Тогда получаем

$$S = \frac{1}{2} t a_x t = \frac{1}{2} a_x t^2, \text{ или}$$

$$s_x = \frac{a_x t^2}{2}.$$

Следовательно, значение перемещения пропорционально квадрату времени.

Если тело движется равноускоренно, то направления векторов перемещения и ускорения совпадают. Если ось X направлена по направлению движения тела, то значения модулей векторов перемещения, скорости и ускорения равны значению их проекций. Поэтому мы можем записать:

$$s = \frac{at^2}{2}. \quad (1)$$

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ТЕЛА, НАЧАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ КОТОРОГО НЕ РАВНА НУЛЮ

Если начальная скорость тела не равна нулю и тело движется равноускоренно, то график зависимости проекции скорости от времени будет выглядеть так, как изображено на рисунке **б**. В этом случае, как и в предыдущем, значение перемещения будет равно площади фигуры под графиком.

Видно, что площадь фигуры $OABD$ равна сумме площадей треугольника ABC и прямоугольника $OACD$. Площадь прямоугольника равна произведению длин его сторон:

$$S_1 = v_{0x}t.$$

Площадь треугольника, как и в предыдущем случае, равна

$$S_2 = \frac{a_x t^2}{2}.$$

Следовательно, так как $s_x = S_1 + S_2$,

$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}. \quad (2)$$

Учитывая, что при равноускоренном движении направление движения совпадает с направлением скорости и ускорения, проекции в этой формуле можно заменить модулями соответствующих векторов.

Если тело, имеющее скорость v_0 в момент времени $t = 0$, замедляет движение, то его ускорение будет направлено в сторону, противоположную направлению движения. Если ось X направлена по направлению движения тела, то проекция ускорения будет отрицательна и можно записать: $a_x = -|a|$. Тогда модуль перемещения в момент времени t может быть найден по формуле

$$s = v_{0x}t - \frac{at^2}{2}. \quad (3)$$

НАХОЖДЕНИЕ КООРДИНАТЫ ТЕЛА, ДВИЖУЩЕГОСЯ РАВНОУСКОРЕННО Из формулы (2) можно найти положение (координату) тела в любой момент времени.

Если $s_x = x - x_0$ и $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$, то $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$.

График зависимости координаты тела от времени представляет собой параболу **в**.



Галилей при изучении прямолинейного равноускоренного движения обнаружил, что пути, проходимые за последовательные равные промежутки времени, относятся как последовательные нечётные числа, т. е.

$$s_1 : s_2 : s_3 : \dots = 1 : 3 : 5 : \dots$$

Рассмотрим график зависимости скорости от времени, на котором отмечены равные промежутки времени $t_1 = t_2 = t_3$ и т. д. Нетрудно доказать, что все треугольники, изображённые на рисунке, равны (по трём сторонам). Путь s_1 , пройденный за первый промежуток времени t_1 , равен площади треугольника 1. Путь s_2 , пройденный за второй промежуток времени t_2 , равен сумме площадей трёх треугольников 2, 3 и 4. Путь s_3 , пройденный за следующий промежуток времени t_3 , равен сумме площадей пяти треугольников 5, 6, 7, 8 и 9. Таким образом, пройденные пути s_1, s_2, s_3 и т. д. относятся как нечётные числа $1 : 3 : 5 : \dots$.

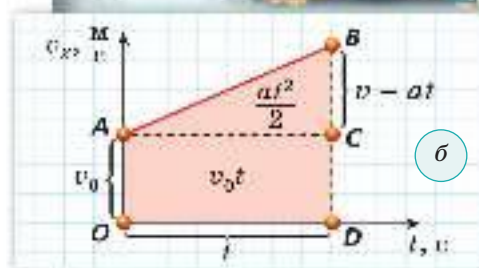


График зависимости скорости от времени при начальной скорости, не равной нулю

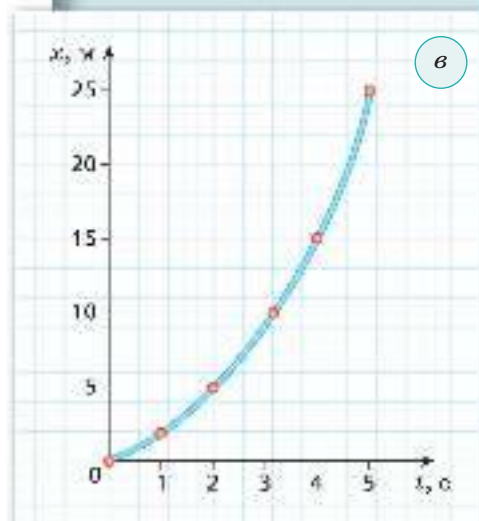
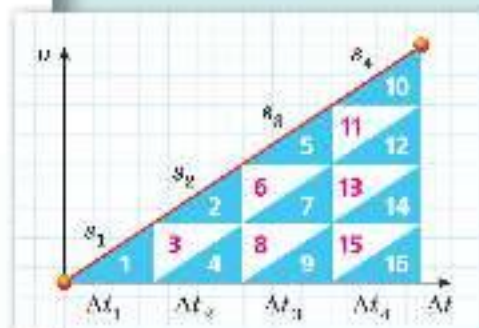


График зависимости координаты тела от времени



ВОПРОСЫ:

- Как найти перемещение тела при равноускоренном движении?
- Как найти координату тела при равноускоренном движении в произвольный момент времени?

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как решать задачи на прямолинейное равномерное движение.
- Как решать задачи на прямолинейное равнопеременное движение.

ЗАДАЧА 1 Со станции A по направлению к станции B выехал поезд со скоростью 54 км/ч . В это же время со станции B по направлению к станции A отправился другой поезд со скоростью 72 км/ч . Расстояние между станциями равно $33,6 \text{ км}$. Определите время, через которое поезда встретятся, и место встречи.

Запишем условие задачи и решим её.

3

Дано:

$$\begin{aligned} v_1 &= 54 \text{ км/ч} \\ v_2 &= 72 \text{ км/ч} \\ l &= 33,6 \text{ км} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t &= ? \\ x &= ? \end{aligned}$$

СИ

$$\begin{aligned} 15 \text{ м/с} \\ 20 \text{ м/с} \\ 33\,600 \text{ м} \end{aligned}$$

Решение:

В качестве тела отсчёта выберем станцию A . Проведём горизонтальную ось X , параллельную траектории движения поездов и направленную от станции A к станции B .

Запишем уравнения движения для каждого из движущихся тел:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_{01} + v_{1x}t, \\ x_2 &= x_{02} + v_{2x}t. \end{aligned}$$

Проекция скорости первого поезда положительна. Проекция скорости второго поезда отрицательна. Начальная координата первого поезда равна нулю: $x_{01} = 0$. Начальная координата второго поезда находится в точке B и равна $x_{02} = l$.

Поэтому

$$\begin{aligned} x_1 &= v_1 t, \\ x_2 &= l - v_2 t. \end{aligned}$$

В момент встречи координата одного поезда будет равна координате другого поезда: $x_1 = x_2 = x$. Поэтому

$$v_1 t = l - v_2 t.$$

Из полученного уравнения найдём время, через которое произойдёт встреча поездов:

$$\begin{aligned} t &= \frac{l}{v_1 + v_2}, \\ t &= \frac{33\,600 \text{ м}}{15 \text{ м/с} + 20 \text{ м/с}} = 960 \text{ с} = 16 \text{ мин}. \end{aligned}$$

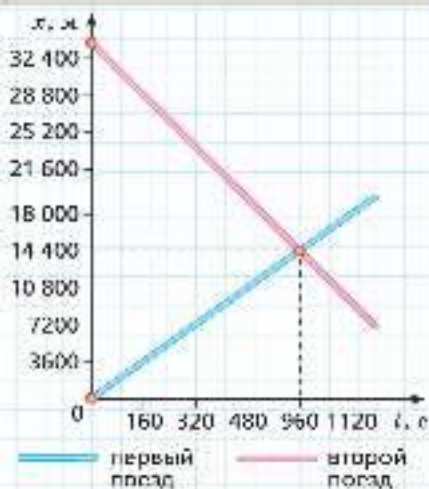
Координата места встречи $x = v_1 t$;

$$x = 15 \text{ м/с} \cdot 960 \text{ с} = 14\,400 \text{ м} = 14,4 \text{ км}.$$

Ответ: $t = 16 \text{ мин}$, $x = 14,4 \text{ км}$.

Построим графики зависимости координаты тела от времени. Моменту встречи соответствует точка пересечения графиков:

$$t = 960 \text{ с}, \quad x = 14\,400 \text{ м}.$$



ЗАДАЧА 2 Поезд в метро движется со скоростью 16 м/с. Для того чтобы полностью остановиться, ему требуется время, равное 20 с. Определите ускорение поезда во время торможения и его тормозной путь.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$v_0 = 16 \text{ м/с}$$

$$v = 0$$

$$t = 20 \text{ с}$$

$$a_x = ?$$

$$s = ?$$

Решение:

Проведём горизонтальную ось X , параллельную траектории движения поезда и направленную в сторону его движения. Так как направление оси совпадает с направлением векторов скорости, то их проекции положительны:

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t},$$

$$a_x = \frac{0 - 16 \text{ м/с}}{20 \text{ с}} = -0,8 \text{ м/с}^2.$$

$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2},$$

$$s_x = 16 \text{ м/с} \cdot 20 \text{ с} - \frac{0,8 \text{ м/с}^2 \cdot (20 \text{ с})^2}{2} = 160 \text{ м}.$$

Ответ: $a_x = -0,8 \text{ м/с}^2$; $s_x = 160 \text{ м}$.

ЗАДАЧА 3 Лифт поднимается с ускорением 2 м/с^2 . Через какой промежуток времени его скорость станет равна $2,4 \text{ м/с}$?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$v_0 = 0 \text{ м/с}$$

$$a = 2 \text{ м/с}^2$$

$$v = 2,4 \text{ м/с}$$

$$t = ?$$

Решение:

Проведём горизонтальную ось X , параллельную траектории движения лифта и направленную вверх, в сторону его движения. Так как направление оси совпадает с направлением векторов скорости, то их проекции положительны.

Скорость движения лифта возрастает, поэтому направление вектора ускорения совпадает с направлением вектора скорости, и проекция ускорения также положительна:

$$v_x = v_{0x} + a_x t; \quad t = \frac{v_x - v_{0x}}{a}$$

$$t = \frac{2,4 \text{ м/с} - 0}{2 \text{ м/с}^2} = 1,2 \text{ с}.$$

Ответ: $t = 1,2 \text{ с}$.



Ускорение имеет отрицательный знак, это означает, что оно направлено противоположно оси X и противоположно скорости движения поезда. При этом скорость поезда уменьшается.



ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- По характеру решаемых задач механику делят на два раздела: кинематику и динамику.
- В кинематике рассматривается движение тел без выяснения причин этого движения. В динамике изучаются причины, определяющие характер движения тел.
- Система координат, связанная с телом отсчёта, и часы для отсчёта времени образуют систему отсчёта.
- Перемещение — направленный отрезок, соединяющий начальное и конечное положение тела.
- Уравнение зависимости координаты тела от времени называют уравнением движения.
- Если за любые одинаковые промежутки времени скорость тела увеличивается на одно и то же значение, то тело движется равноускоренно.
- Если за любые одинаковые промежутки времени скорость тела уменьшается на одно и то же значение, то тело движется равнозамедленно.



«ПОДРОБНЕЕ...»

- Перельман Я. И. Занимательная механика. — М.: Римис, 2010.
- Перельман Я. И. Занимательная физика. Кн. 1. — М.: Римис, 2009.
- Суорц Кл. Э. Необыкновенная физика обычных явлений. Т. 1. — М.: Наука, 1986.
- Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 1. Биография физики. Путешествие вглубь материи. Механическая картина мира. — М.: Аванта+, 2000.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Может ли мгновенная скорость быть равной средней скорости?
- Почему нельзя говорить о средней скорости переменного движения вообще, а можно говорить только о средней скорости за данный промежуток времени или о средней скорости на данном участке пути?
- Во время езды на автомобиле каждую минуту снимались показания спидометра. Можно ли по этим данным определить среднюю скорость?

Международный научно-образовательный интернет-журнал для школьников
<http://oscteam.com/>

Научно-популярный физико-математический журнал «Квант»
<http://kvant.mirror1.mccme.ru/index.htm>



ОСНОВЫ ДИНАМИКИ

- ИНЕРЦИЯ И ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА
- ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА
- ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА
- ИМПУЛЬС СИЛЫ. ИМПУЛЬС ТЕЛА
- ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА
- РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ
- РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

Сила проявляется единственно только в действии и по прекращении действия в теле не остаётся. Тело продолжает затем удерживать своё новое состояние вследствие одной только инерции. Происхождение силы может быть различное: от удара, от давления...

И. Ньютон

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое инерциальные и неинерциальные системы отсчёта.
- Как формулируется первый закон Ньютона.
- В чём заключается принцип относительности Галилея.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое механическое движение и почему оно относительно?
- Что такое система отсчёта?
- Что такое движение по инерции?

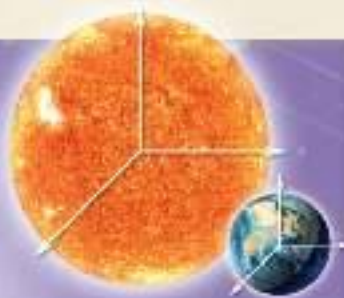


Исаак Ньютон
(1642—1727)

Английский физик и математик, заложивший основы современного естествознания, создатель классической физики.

Первый закон Ньютона имеет следующую формулировку:

существуют такие системы отсчёта, относительно которых поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной, если на него не действуют другие тела или действие других тел компенсируется.



ИНЕРЦИЯ И ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Раздел механики, который называют динамикой, изучает причины движения. Мы знаем, что всякое движение относительно. Для его описания нужно выбрать систему отсчёта. Начнём изучение динамики, выбрав наиболее естественную для нас систему отсчёт — систему, связанную с Землёй.

ЗАКОН ИНЕРЦИИ

В начале XVII в. в результате тщательных опытов по изучению движения тел Г. Галилеем был сформулирован закон инерции, согласно которому *если на тело не действуют другие тела, то оно или находится в покое, или движется прямолинейно и равномерно относительно Земли.*

Свойство тел сохранять скорость при отсутствии действия на них других тел называют **инертностью тела** (от лат. *inertia* — бездеятельность). Движение тела при отсутствии действия на него других тел называют движением по инерции. Из закона инерции следует, что, для того чтобы тело изменило свою скорость относительно Земли, на него должны действовать другие тела. Следовательно, причина ускорения (изменения скорости) заключается в действии других тел.

Сформулировав закон инерции, Галилей сделал великое научное открытие. По существовавшим до него более 2000 лет представлениям, опирающимся на труды Аристотеля, считалось, что естественным положением тела по отношению к Земле является покой. И всякое перемещение тела относительно Земли должно иметь причину — приложенную к телу силу.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Закон инерции можно считать тем фундаментом, на котором основано учение о движении тел. Известно высказывание И. Ньютона о своих великих предшественниках — Галилее и Копернике. Он говорил: «Если я видел дальше других, то потому, что стоял на плечах гигантов». В конце XVII в. И. Ньютон обобщил выводы Галилея и сформулировал первый из трёх законов: *всякое тело продолжает удерживаться в своём состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние.* В 1687 г. увидела свет книга И. Ньютона «Математические начала натуральной философии», в которой великий учёный сформулировал основные законы движения. Эти законы легли в основу науки, которую называют механикой.

ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЧЁТА

Системы отсчёта, в которых выполняется закон инерции, называют **инерциальными**. Связанная с Землёй система отсчёта не единственная инерциальная система. Инерциальных систем

бесконечно много. Например, система отсчёта, связанная с любым поездом, движущимся равномерно и прямолинейно относительно Земли, также является инерциальной системой. Тело, находящееся внутри поезда, может изменить свою скорость только под действием других тел. Но если поезд начинает тормозить или двигаться по искривлённому участку пути, то связанная с ним система отсчёта уже не будет являться инерциальной.

Например, лежащее на гладком столе яблоко при торможении поезда начнёт двигаться относительно стола, хотя никаких новых воздействий со стороны других тел яблоко при этом не испытывает. Получается, что в системе отсчёта, связанной с поездом, нарушился закон инерции. Однако если рассматривать движение яблока относительно системы отсчёта, связанной с Землёй, оно при торможении поезда будет продолжать своё движение по инерции.

Системы отсчёта, в которых не выполняется закон инерции, называют **неинерциальными**. Неинерциальные системы отсчёта — это системы отсчёта, которые движутся с ускорением или вращаются относительно инерциальных систем. В реальной жизни невозможно найти строго инерциальную систему, это понятие является идеализированным.



Систему отсчёта, связанную с Землёй, называют геоцентрической (от греч. *geo* — Земля), а систему отсчёта, связанную с Солнцем, — гелиоцентрической (от греч. *gelios* — Солнце). Если изменение скорости или поворот системы отсчёта малы за то время, пока изучается движение тела, то такую систему можно рассматривать как инерциальную. Например, за 1 с Земля поворачивается всего на 0,004 градуса. Поэтому для многих физических явлений геоцентрическую систему можно считать инерциальной.

ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ Существует бесчисленное множество инерциальных систем, движущихся друг относительно друга равномерно и прямолинейно. Один из важнейших законов классической физики называют **принципом относительности Галилея**. Он состоит в том, что невозможно каким-либо опытным путём одну инерциальную систему выделить относительно остальных. Законы движения тел во всех инерциальных системах одинаковы.

По этому поводу Галилей писал: «...заставьте теперь корабль двигаться с любой скоростью (только без толчков и качки), так же рыбы будут плавать безразлично в любых направлениях, насекомые летать с одной и той скоростью в разные стороны, капли падать в узкое отверстие, как и раньше! Во всех названных явлениях вы не обнаружите ни малейшего изменения!»

Известно, что вокруг центра нашей Галактики Солнце делает один оборот за 180 млн лет, или $6 \cdot 10^{15}$ с. Можно посчитать, что за 1 с гелиоцентрическая система повернётся на $6 \cdot 10^{-14}$ градуса.

Поэтому гелиоцентрическую систему отсчёта с очень высокой степенью точности можно считать инерциальной. Она используется для решения задач небесной механики и космонавтики.

ВОПРОСЫ:

- Как движется тело, если на него не действуют другие тела?
- Как формулируется первый закон Ньютона?
- Какие системы отсчёта называют инерциальными, а какие — неинерциальными?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как связаны между собой сила и ускорение.
- Как формулируется второй закон Ньютона.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое сила?
- Что является причиной изменения скорости тела?
- Как формулируется первый закон Ньютона?
- Что такое свободное падение тела?

Сила тяги приводит к ускорению тела, а сила трения — к торможению. Эти две силы противоположно направлены, поэтому направление их равнодействующей совпадает с направлением большей из сил. Если же эти две силы уравновешивают друг друга, тело движется равномерно или покоится.



Конечно, опыты, в которых используется простейшее оборудование, слишком грубы для точного установления закона пропорциональности между силами и ускорениями. Однако при помощи всё более и более точных методов измерений этот закон был подтверждён.

ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

В случае, когда на тело не действуют силы или равнодействующая всех сил, действующих на тело, равна нулю, тело может двигаться только равномерно, т. е. без ускорения. Действие на тело других тел с некоторой силой приводит к изменению скорости тела. А если изменяется скорость, значит, возникает ускорение.

ВЗАИМОСВЯЗЬ СИЛЫ И УСКОРЕНИЯ

Как же связаны между собой сила, действующая на тело, и ускорение, которое при этом возникает?

Если тело движется, на него действуют, как правило, две силы: сила тяги и сила трения или сопротивления воздуха. Если направление равнодействующей силы совпадает с направлением силы тяги, то скорость тела увеличивается, а если с направлением силы трения, то скорость тела уменьшается.

Направление ускорения совпадает с направлением вызывающей его силы. При этом ускорение, сообщаемое данному телу, тем больше, чем больше действующая на него сила.

Изучение взаимосвязи силы и ускорения удобно проводить на дорожке с воздушной подушкой, обеспечивающей движение тележки с малым трением. Выходящий из маленьких отверстий сжатый воздух, нагнетаемый с помощью компрессора, обеспечивает положение тележки в приподнятом состоянии.

При помощи пружинного динамометра соединим тележку с перекинутой через блок нитью, на которой закреплён груз. При движении тележки пружина будет растягиваться под действием силы натяжения нити, которая зависит от силы тяжести, действующей на груз: чем больше сила тяжести, тем сильнее натяжение нити и растяжение пружины.

Опыт показывает, что при движении тележки показания динамометра не меняются, т. е. сила F , действующая на тележку, постоянна. Измеряя путь s , пройденный тележкой за определённое время t , можно вычислить её ускорение.

Результаты измерений показывают, что путь, пройденный тележкой, пропорционален квадрату промежутка времени, прошедшего от начала движения: $s \sim t^2$. Следовательно, тележка движется равноускоренно. Ускорение a найдём из формулы

$$a = 2s/t^2.$$

Подвесивая грузы различной массы и определяя в каждом случае силы и ускорение, можно сделать вывод: **ускорение, с которым движется тело, прямо пропорционально приложенной к этому телу силе:**

$$a \sim F.$$

ВЗАИМОСВЯЗЬ МАССЫ И УСКОРЕНИЯ Сила, действуя на разные тела, придает им различные ускорения. Почему?

Описанный выше опыт можно видоизменить, если сцепить вместе две одинаковые тележки. При этом оказывается, что сила F сообщает им ускорение, вдвое меньшее того, которое она сообщала одной тележке. Использование двух связанных тележек равносильно увеличению массы тележки вдвое. Измерения показывают, что *ускорения, приобретаемые телами при взаимодействии, обратно пропорциональны их массам*:

$$a \sim \frac{1}{m}.$$

ПОНЯТИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ При решении задач динамики часто не важно знание ни размеров тела, ни его геометрической формы. В этих случаях мы можем рассматривать тело как **материальную точку**, т. е. будем считать, что оно обладает массой, но не имеет геометрических размеров.

ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА Обобщив выводы, получим, что *ускорение тела прямо пропорционально действующей силе, приложенной к телу, и обратно пропорционально его массе*:

$$a \sim \frac{F}{m}.$$

Закон, устанавливающий связь ускорения с массой тела и действующей на него силой, называют **основным законом динамики** или **вторым законом Ньютона**. Математически его записывают следующим образом:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

Из этой формулы видно, что направление ускорения тела всегда совпадает с направлением вектора равнодействующей сил, действующих на тело.

Второй закон Ньютона справедлив только в инерциальных системах отсчёта.

ЕДИНИЦЫ СИЛЫ Из второго закона Ньютона можно найти равнодействующую сил, действующих на тело:

$$\vec{F} = m\vec{a}.$$

За **единицу силы** в СИ принимают такую силу, которая сообщает телу массой 1 кг ускорение 1 м/с².

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с}^2.$$

СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ ТЕЛ Ускорение свободного падения является тем коэффициентом пропорциональности, который связывает силу тяжести и массу тела:

$$g = \frac{F_{\text{тяж}}}{m}.$$

Эта формула — запись второго закона Ньютона для случая, когда на тело действует только сила тяжести.

Инертность — свойство, присущее всем телам. Из двух тел, изменяющих скорость на одно и то же значение, более инертно то, которому для этого изменения требуется большее время. Инертность характеризуется физической величиной, называемой **массой тела**. Более инертное тело имеет большую массу, менее инертное тело — меньшую массу.

Если на тело действует несколько сил, то под $\vec{F}$ следует понимать их равнодействующую.

Важно понимать, что ускорение пропорционально действующей силе и обратно пропорционально массе тела и не зависит ни от каких других свойств тела.



Второй закон Ньютона имеет следующую формулировку:

ускорение тела прямо пропорционально действующей силе, приложенной к телу, и обратно пропорционально его массе:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

ВОПРОСЫ:

- Что является причиной ускоренного движения тел?
- Как формулируется второй закон Ньютона?
- Что является единицей силы в СИ?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

● Как формулируется третий закон Ньютона.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое взаимодействие тел?
- Что такое сила тяжести, вес и сила реакции опоры?

ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Со стола на пол упал карандаш, подпрыгнул и остался лежать на полу. Почему он упал, вы уже сможете объяснить. А вот почему он отскочил? Всё дело в том, что карандаш подействовал на пол, а пол подействовал на карандаш.

СИЛЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ В инерциальных системах отсчёта все силы возникают (или исчезают) только парами, т. е. если одно тело действует на другое (действие), то и второе тело, в свою очередь, действует на первое (противодействие).

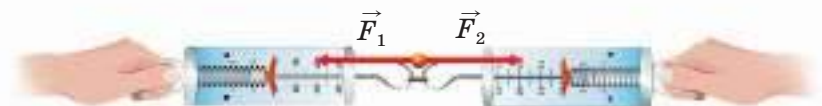
Тела действуют друг на друга с силами, противоположно направленными.

Наиболее ярко это может быть проиллюстрировано на опыте в космическом пространстве. Если космонавт в открытом космосе бросит какой-либо предмет, то не только предмет начнёт движение, но и космонавт будет двигаться в противоположном направлении. Это означает, что космонавт подействовал на тело с некоторой силой, а тело, в свою очередь, подействовало на космонавта с противоположно направленной силой.

Может ли одна из пары сил, возникающих при взаимодействии двух тел, быть больше другой?

Два динамометра крючками цепляют друг за друга. После этого, взявшись за кольца, динамометры растягивают в разные стороны. Наблюдая за показаниями обоих динамометров, можно увидеть, что при любых растяжениях они будут совпадать.

Следовательно, сила, с которой первый динамометр действует на второй, равна по модулю силе, с которой второй динамометр действует на первый.



Равенство сил по модулю при взаимодействии выполняется всегда и не зависит от того, движутся ли взаимодействующие тела или находятся в покое относительно друг друга.

ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА Анализируя взаимодействие двух тел, И. Ньютон писал: «Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны».

Это утверждение теперь называется *третьим законом Ньютона* и формулируется следующим образом: **силы, с которыми два тела действуют друг на друга, равны по модулю и противоположны по направлению.**

Третий закон Ньютона имеет следующую формулировку:

силы, с которыми два тела действуют друг на друга, равны по модулю и противоположны по направлению:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

Математическая запись этого закона:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

Знак «-» показывает, что векторы сил направлены в противоположные стороны.

ОСОБЕННОСТИ СИЛ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

Важно понимать, что *силы, о которых идёт речь в третьем законе Ньютона, приложены к разным телам, и, следовательно, они не могут уравнивать друг друга. Их нельзя складывать или вычитать.*



Например, брусок, лежащий на опоре, действует на неё с силой, называемой весом ($\vec{P}$). Опора, в свою очередь, действует на брусок с силой, называемой силой реакции опоры или силой упругости ($\vec{N}$).

Из курса физики 7 класса мы уже знаем, что эти силы противоположно направлены, равны по модулю и приложены к разным телам: вес — к опоре, а сила реакции опоры — к самому телу. Теперь, зная третий закон Ньютона, мы можем записать это в векторной форме:

$$\vec{P} = -\vec{N}.$$

Третий закон Ньютона справедлив не только в случае взаимодействия при непосредственном соприкосновении тел, но и в случае взаимодействия на расстоянии.

Следует отметить, что *силы, возникающие в результате взаимодействия тел, являются силами одной и той же природы.*

Например, Земля и Луна взаимодействуют друг с другом в результате действия силы всемирного тяготения, железо и магнит притягиваются в результате действия магнитных сил. Два одноимённо заряженных тела отталкиваются в результате действия электрических сил.



При ходьбе человек действует на Землю с силой $\vec{F}$, т. е. толкает её назад, а Земля с такой же силой отталкивает человека вперёд. Так как масса Земли намного больше массы человека, она остаётся на месте, а человек делает шаг вперёд.

Мальчик катит тележку. Если действие равно противодействию, то почему же силы не уравнивают друг друга и тележка движется?

Дело в том, что в этом примере существенную роль играет сила трения. Она действует как на мальчика, так и на тележку. Когда мальчик делает шаг, то сила трения, толкающая его вперёд, несколько превышает силу натяжения верёвки, связывающей мальчика с тележкой, поэтому тележка будет перемещаться вслед за мальчиком. При этом сила трения, действующая на тележку и препятствующая её движению, не должна превышать силу трения, действующую на мальчика.

ВОПРОСЫ:

- Как формулируется третий закон Ньютона?
- Какие примеры демонстрируют выполнение третьего закона Ньютона?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое импульс силы.
- Что такое импульс тела.

ВСПОМНИТЕ:

- Как формулируется второй закон Ньютона?

Импульсом силы называют векторную физическую величину, являющуюся мерой действия силы за некоторый промежуток времени. Импульс силы равен произведению силы на промежуток времени, в течение которого сила действует:

$$\vec{F}\Delta t.$$

Импульсом тела называют векторную физическую величину, равную произведению массы тела на скорость его движения:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

При этом под телом здесь понимается **материальная точка**.

ИМПУЛЬС СИЛЫ. ИМПУЛЬС ТЕЛА

Причиной изменения скорости тела является действие на него других тел. Например, футболист толкнул лежащий на газоне мяч, и мяч покатился. Другими словами, на тело массой m , которое первоначально покоилось, в течение времени Δt подействовала некоторая сила $\vec{F}$. В результате этого за малый промежуток времени Δt тело приобрело скорость $\vec{v}$.

ИМПУЛЬС СИЛЫ Выясним, какая сила требуется для того, чтобы за время Δt скорость тела изменилась от значения $\vec{v}_0$ до значения $\vec{v}$.

По второму закону Ньютона

$$\vec{F} = m\vec{a}.$$

Вспомним формулу ускорения:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}.$$

Подставим в формулу второго закона Ньютона формулу ускорения. В результате получим

$$\vec{F} = m \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}.$$

Откуда

$$\vec{F}\Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_0. \quad (1)$$

импульс
силы

импульс тела спустя
время Δt после
начала действия силы

импульс тела
в начальный
момент времени

ИМПУЛЬС ТЕЛА Физическую величину, равную произведению массы тела на скорость его движения, называют **импульсом тела** или **количеством движения тела**. Импульс тела обозначается буквой $\vec{p}$:

$$\vec{p} = m\vec{v}. \quad (2)$$

Если тело покоится, то его импульс равен нулю. Импульс тела — **векторная величина**. Направление вектора импульса совпадает с направлением вектора скорости тела. Под телом здесь понимается **материальная точка**.

ЕДИНИЦЫ ИМПУЛЬСА Единицей импульса в СИ является **килограмм-метр в секунду** ($1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$).

Если мы говорим об импульсе тела, то его единицы получают простой подстановкой единиц массы и единиц скорости в формулу (2). Для того чтобы получить единицы импульса силы, вспомним, что $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с}^2$.

Тогда

$$\text{Н} \cdot \text{с} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{с}^2} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

ИМПУЛЬС ТЕЛА И ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА И. Ньютон формулировал свой закон следующим образом: «Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует».

Действительно, из формулы (1) можно записать:

$$\vec{F} = \frac{m\vec{v} - m\vec{v}_0}{\Delta t} = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}.$$

Говоря «изменение количества движения», Ньютон имел в виду изменение импульса тела, поэтому второй закон Ньютона можно переформулировать следующим образом: **изменение импульса в единицу времени равно действующей на тело силе.**

При помощи этого закона можно выразить взаимосвязь между импульсом силы и изменением импульса тела:

$$\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}.$$

Импульс силы равен изменению импульса тела.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ Найдём импульс силы и изменение импульса тела для мяча, по которому ударил футболист. Пусть известно, что масса мяча равна 400 г, скорость, которую он приобрёл после удара, 30 м/с, сила, с которой нога действовала на мяч, 1500 Н, а время удара равно $8 \cdot 10^{-3}$ с.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$m = 0,4 \text{ кг}$$

$$v = 30 \text{ м/с}$$

$$F = 1500 \text{ Н}$$

$$\Delta t = 8 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

$$F\Delta t = ?$$

$$\Delta p = ?$$

Решение:

$$F\Delta t = 1500 \text{ Н} \cdot 8 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 12 \text{ Н} \cdot \text{с}.$$

Импульс мяча до удара равен нулю.

Импульс мяча после удара:

$$mv = 0,4 \text{ кг} \cdot 30 \text{ м/с} = 12 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}},$$

$$\Delta(mv) = 12 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

Таким образом,

$$\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}.$$

$$\text{Ответ: } F\Delta t = 12 \text{ Н} \cdot \text{с}; \Delta p = \Delta(mv) = 12 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

Объясняя свой второй закон, И. Ньютон писал: «Если какая-нибудь сила производит некоторое количество движения, то двойная сила производит двойное, тройная — тройное, будут ли они приложены разом все вместе или же последовательно и постепенно. Это количество движения... всегда происходит по тому же направлению, как и производящая его сила».

Математическая формулировка второго закона Ньютона, строго говоря, справедлива в случае, когда приложенная к телу сила в течение времени её действия постоянна, т. е. не меняется ни по направлению, ни по величине.

ВОПРОСЫ:

- Что называют импульсом силы?
- Что называют импульсом тела?
- Что принимают за единицу импульса?
- Как можно сформулировать второй закон Ньютона с помощью понятия импульса?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое замкнутая система.
- Как формулируется закон сохранения импульса.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое импульс силы и импульс тела?
- Как формулируется второй закон Ньютона?
- Как формулируется третий закон Ньютона?

При изучении движения соударяющихся бильярдных шаров надо понимать, что на них действуют сила тяжести и сила упругости стола. Однако для каждого шара обе эти силы уравнивают друг друга и не влияют на характер движения шара. Именно поэтому шары можно рассматривать как замкнутую систему.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Даже те, кто в реальной жизни никогда не имел дело с огнестрельным оружием, знают, что при выстреле возникает явление, называемое отдачей. При выстреле из ружья пуля летит вперёд, а само ружьё ударяет в плечо стреляющего человека. При выстреле из пушки снаряд летит вперёд, а само орудие откатывается назад. В этих примерах в результате взаимодействия двух тел их скорости изменяются как по модулю, так и по направлению. Следовательно, изменяется также направление и модуль импульса тел.

ЗАМКНУТАЯ СИСТЕМА ТЕЛ В механике часто встречаются задачи, в которых необходимо изучить движение нескольких тел, взаимодействующих друг с другом. Например, в задачах об отдаче огнестрельного оружия. Другой пример — движение бильярдных шаров до и после их столкновения. В таких задачах принято говорить о движении *системы тел*.

Между телами системы действуют некоторые силы. Например, в системе соударяющихся тел — силы упругости, в системе «пушка — снаряд» — силы, создаваемые пороховыми газами.

Кроме сил, действующих между телами системы (**внутренние силы**), на тела могут действовать ещё силы со стороны тел, не принадлежащих системе (**внешние силы**).

Однако в ряде случаев всеми внешними силами можно пренебречь. Поэтому часто движения системы тел рассматриваются в предположении, что внешние силы отсутствуют.

Если два или несколько тел взаимодействуют только между собой (т. е. не подвергаются воздействию внешних сил), то эти тела образуют **замкнутую систему**.

ИЗМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ТЕЛ

Пусть два взаимодействующих тела массой m_1 и m_2 образуют замкнутую систему. Запишем для них формулу третьего закона Ньютона:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2. \quad (1)$$

Обозначим время, в течение которого тела взаимодействовали, Δt .

Если до начала взаимодействия тела имели скорости $\vec{v}_{01}$ и $\vec{v}_{02}$, а после взаимодействия — скорости $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$, то импульсы сил будут соответственно равны

$$\begin{aligned} \vec{F}_1 \Delta t &= m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{v}_{01}, \\ \vec{F}_2 \Delta t &= m_2 \vec{v}_2 - m_2 \vec{v}_{02}. \end{aligned}$$

Выразим из этих соотношений $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ и подставим их в формулу (1). Проведя простейшие преобразования, получим

$$\begin{aligned}
 m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{v}_{01} &= -(m_2 \vec{v}_2 - m_2 \vec{v}_{02}), \\
 m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} &= m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2, \text{ или} \\
 \vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} &= \vec{p}_1 + \vec{p}_2.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Здесь $\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02}$ — суммарный импульс шаров до их взаимодействия, $\vec{p}_1 + \vec{p}_2$ — суммарный импульс после взаимодействия.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА Из соотношения (2) видно, что, хотя импульс каждого из шаров при взаимодействии изменился, векторная сумма их импульсов после взаимодействия осталась такой же, как и до взаимодействия.

Таким образом, можно сформулировать закон сохранения импульса: **векторная сумма импульсов тел, составляющих замкнутую систему, остаётся постоянной при любых движениях и взаимодействиях тел этой системы.**

Этот закон можно сформулировать иначе: **внутренние силы не изменяют суммарный импульс системы.**

Закон сохранения импульса выполняется всегда, независимо от того, как взаимодействовали тела системы. Их взаимодействие может быть как долгим, так и кратковременным. Тела при взаимодействии могут соприкасаться или нет.

Из закона сохранения импульса следует, что если два тела, составляющие замкнутую систему, покоились до начала взаимодействия, то суммарный импульс системы останется равным нулю и после взаимодействия.

Пробирка с водой, закрытая пробкой, подвешена на нитях. Если при помощи горелки начать нагревать воду в пробирке, то через некоторое время она закипит. Тогда пробка вылетит из пробирки в одном направлении, а сама пробирка отклонится в противоположную сторону. В этом случае можно говорить о явлении отдачи.

Сила, выбрасывающая пробку из пробирки и отклоняющая пробирку, обусловлена давлением пара. При стрельбе из огнестрельного оружия происходит то же самое, с той лишь разницей, что действует давление пороховых газов.

Обозначим массы пробирки и пробки m_1 и m_2 , а их скорости $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ соответственно. Так как вначале система «пробирка — пробка» покоилась, то по закону сохранения импульса можно записать:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = 0.$$

Направим ось X по направлению движения пробирки. Тогда проекция скорости пробирки будет положительной, а проекция скорости пробки — отрицательной.

Закон сохранения импульса для проекций скоростей будет выглядеть следующим образом:

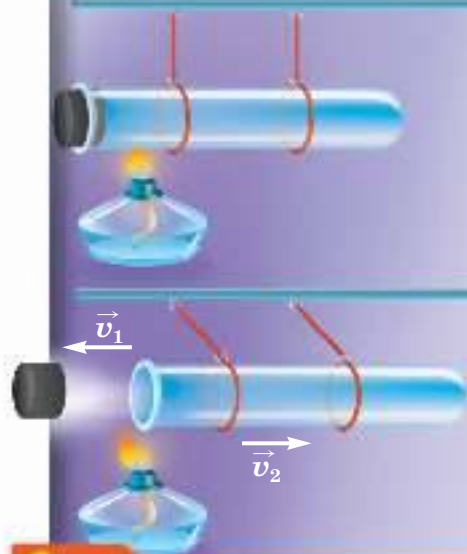
$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = 0.$$

Закон сохранения импульса

имеет следующую формулировку: суммарный импульс тел, составляющих замкнутую систему, в результате взаимодействия тел системы не изменяется:

$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2.$$

Если в качестве замкнутой системы рассмотреть одно-единственное тело, то в этом случае закон сохранения импульса означает, что в отсутствие сил, действующих на тело, его импульс остаётся постоянным (скорость тела не меняется). Это означает выполнение первого закона Ньютона, или закона инерции.



Проведение данного опыта требует соблюдения дополнительных мер предосторожности.

ВОПРОСЫ:

- Что называют замкнутой системой тел?
- Как формулируется закон сохранения импульса?

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое реактивное движение.
- Принцип действия ракеты.

ВСПОМНИТЕ:

- Как формулируется закон сохранения импульса?
- Что такое реактивный двигатель и как он устроен?



**Николай Иванович
Кибальчич**
(1853—1881)

Русский изобретатель, автор первого русского проекта реактивного двигателя и летательного аппарата для полётов людей.



Сергей Павлович Королёв
(1907—1966)

Конструктор, учёный, академик. Дважды Герой Социалистического Труда. С его именем связан запуск первого искусственного спутника Земли и первый полёт человека в космос.

РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Мы все надували воздушные шарик и, не завязывая, отпускали. Шарик превращался в маленькую ракету и некоторое время двигался по весьма замысловатой траектории. Описанный опыт — это пример реактивного движения.

РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ Реактивным движением называют движение тела, возникающее при отделении от него с какой-либо скоростью некоторой его части. В природе встречаются растения (например, бешеный огурец — *Escballium elaterium* (лат.), который после созревания отлетает от плодоножки и рассеивает семена), а также живые организмы, использующие реактивное движение, например медузы.

ПЕРВЫЕ РАКЕТЫ Человек также стал использовать реактивное движение в своих целях. Кто же придумал ракету? Есть мнение, что ракеты появились в Китае и вначале использовались как развлечение при фейерверках для зажигания в небе огненных дождей, фонтанов, колёс. Ракеты применяли также в военном деле. При Петре I была создана и применялась однофунтовая сигнальная ракета «образца 1717 года», остававшаяся на вооружении до конца XIX века. Она поднималась на высоту до одного километра.

Многие изобретатели предлагали проекты использования реактивной тяги как для движения наземного транспорта, так и для управления летательными аппаратами.

Первым, кто предложил использовать ракету как средство передвижения, был российский изобретатель Н. И. Кибальчич. Работу над проектом он завершил, находясь в тюрьме за революционные убеждения. Зная о том, что ему вынесен смертный приговор, он передал адвокату не просьбу о помиловании, а «Проект воздухоплавательного прибора» (чертежи ракеты и математические расчёты). Про свой аппарат он писал: «Если цилиндр поставлен закрытым дном кверху, то при известном давлении газов... цилиндр должен подняться вверх».

Кибальчич был казнён в 1881 г., и лишь в 1918 г. конверт с его проектом стал доступен учёным. Его аппарат должен был работать на прессованном порохе, а мысль о двигателе на жидком топливе пришла в голову другому...

РЕАКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ Как вы уже знаете, конструкцию космической ракеты с жидкостным реактивным двигателем впервые предложил в 1903 г. русский учёный К. Э. Циолковский. Помимо конструкции самого летательного аппарата, он продумал расположение в нём людей и системы жизнеобеспечения, т. е. вплотную подошёл к решению задачи космических путешествий.

Он разработал теорию движения космических ракет и вывел формулу для расчёта их скорости. То, что Циолковский — великий учёный, признали только после его смерти.

«Константин Эдуардович Циолковский был человеком, жившим намного впереди своего века», — говорил С. П. Королев — конструктор ракеты, которая впервые в мире вывела на орбиту Земли искусственный спутник.

УСТРОЙСТВО СОВРЕМЕННЫХ РАКЕТ Любая современная ракета с жидкостным двигателем представляет собой оболочку, в которую заключён полезный груз, приборный отсек, баки с топливом и окислителем и двигатель (камера сгорания и т. д.).

Окислитель смешивается с топливом в камере сгорания, здесь смесь воспламеняется и образуется газ (рабочее тело) с высокой температурой и давлением. Этот газ выходит через специальное отверстие — сопло, назначение которого заключается в том, чтобы придать газу ещё большую скорость.

Когда реактивная газовая струя с большой скоростью выбрасывается из ракеты, сама ракета устремляется в противоположную сторону. Согласно третьему закону Ньютона, сила $\vec{F}$, с которой ракета действует на рабочее тело, равна по значению и противоположна по направлению силе $\vec{F}_1$, с которой рабочее тело действует на корпус ракеты:

$$|\vec{F}| = |\vec{F}_1|.$$

Сила F_1 (которую называют реактивной силой) и разгоняет ракету. В данном случае импульс, приобретаемый ракетой, должен быть равен импульсу выброшенных газов:

$$m_p v_p = m_{\text{газ}} v_{\text{газ}}.$$

Отсюда следует, что скорость ракеты

$$v_p = \frac{m_{\text{газ}}}{m_p} v_{\text{газ}}.$$

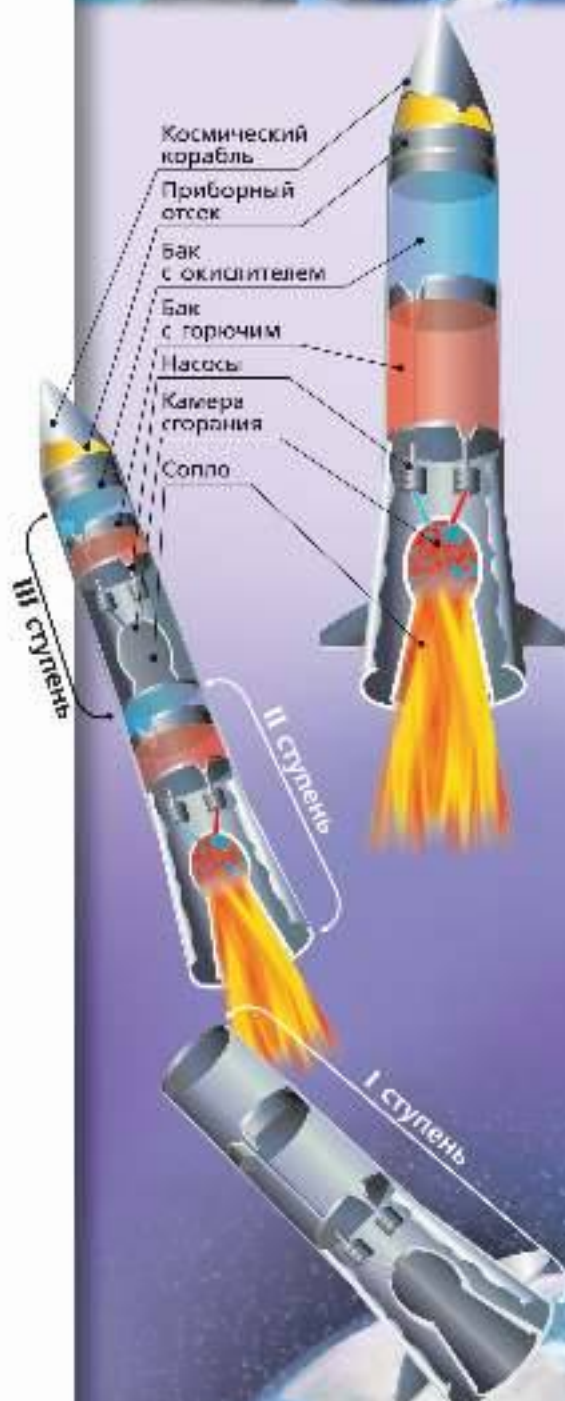
МНОГОСТУПЕНЧАТЫЕ РАКЕТЫ Есть два способа увеличить

скорость ракеты, исходя из формулы $v_p = \frac{m_{\text{газ}}}{m_p} v_{\text{газ}}.$

Во-первых, можно увеличить скорость истечения газов из камеры сгорания. Для этого подбирают оптимальный состав топлива и окислителя, а также подбирают конструкцию камеры сгорания и сопла.

Во-вторых, можно увеличить отношение массы топлива к массе ракеты. Для этого используют многоступенчатые ракеты.

Каждая ступень имеет свои баки и свой двигатель. Когда топливо заканчивается, ступень отстреливается, а в работу включается следующая ступень.



ВОПРОСЫ:

- Что называют реактивным двигателем?
- Какие примеры реактивного движения вам известны?
- Каковы основные части ракеты?
- В чём заключается основной принцип действия ракеты?

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как решать задачи на законы Ньютона.
- Как решать задачи на закон сохранения импульса.

ЗАДАЧА 1 Рассмотрим задачу на движение тела под действием силы тяжести и решим её тремя способами. С башни высотой 45 м свободно падает тело. Определите скорость тела в момент его падения на землю. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Запишем условие задачи и решим её.

3

Дано:

$$h = 45 \text{ м}$$

$$v = ?$$

0

$\vec{F}_{\text{тяж}}$

Решение:

1-й способ (с использованием уравнений кинематики).

Выберем систему координат, причём координатную ось направим вертикально вниз, а начало отсчёта выберем на вершине башни. В момент удара о землю координата тела $y = h$. Поскольку на тело действует только сила тяжести, то оно движется с ускорением $a = g$. Запишем уравнения кинематики:

$$y = \frac{at^2}{2} = \frac{gt^2}{2},$$

$$v_y = v_{0y} + gt, \text{ так как } v_{0y} = 0, v_y = gt.$$

$$h = \frac{gt^2}{2} \rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}},$$

$$v_y = g\sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{2gh}.$$

2-й способ (с использованием второго закона Ньютона).

Согласно второму закону Ньютона запишем изменение импульса тела:

$$\Delta p_y = F\Delta t, \text{ где } F = mg, \Delta t = t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

$$\Delta p_y = mv_y - mv_{0y} = mv_y.$$

Получим

$$mv_y = mg\sqrt{\frac{2h}{g}}, v_y = \sqrt{2gh}.$$

3-й способ (с использованием закона сохранения энергии).

Вычислим работу, которую совершит сила тяжести при падении тела:

$A = mgs$, где $s = h$ — перемещение тела.

Учитывая, что $h = \frac{gt^2}{2}$, получим

$$A = mgh = \frac{m}{2}(gt)^2 = \frac{mv^2}{2}, \text{ поскольку } v_y = v = gt.$$

Таким образом, мы пришли к закону сохранения энергии — потенциальная энергия тела, поднятого над землёй, превратилась в его кинетическую энергию:

$$mgh = \frac{mv^2}{2}.$$

Следовательно,

$$v_y = \sqrt{2gh},$$

$$v_y = \sqrt{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 45 \text{ м}} = 30 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_y = 30 \text{ м/с}$.

ЗАДАЧА 2 Мальчик массой 50 кг движется со скоростью 1 м/с на скейте, масса которого 5 кг. Мальчик прыгает со скейта в направлении, противоположном направлению движения, со скоростью 0,2 м/с. Определите скорость скейта сразу после того, как мальчик с него прыгнул.

Запишем условие задачи и решим её.

3

Дано:

$m = 5 \text{ кг}$

$v = 1 \text{ м/с}$

$m_1 = 50 \text{ кг}$

$v_1 = 0,2 \text{ м/с}$

$v' = ?$

Решение:

Проведём координатную ось, направление которой совпадает с направлением движения скейта.

Запишем закон сохранения импульса:

$$(m + m_1)\vec{v} = m\vec{v}' + m_1\vec{v}_1.$$

Учитывая, что проекция векторов $\vec{v}$ и $\vec{v}'$ на ось X положительна, а проекция вектора $\vec{v}_1$ на ось X отрицательна, получим

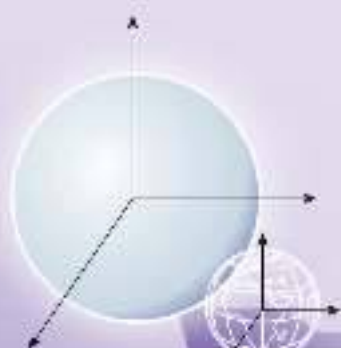
$$(m + m_1)v = mv' - m_1v_1, \text{ откуда}$$

$$v' = \frac{(m + m_1)v + m_1v_1}{m};$$

$$v' = \frac{(5 \text{ кг} + 50 \text{ кг}) \cdot 1 \text{ м/с} + 50 \text{ кг} \cdot 0,2 \text{ м/с}}{5 \text{ кг}} = 13 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v' = 13 \text{ м/с}$.

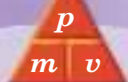




ПЕРВЫЙ



ВТОРОЙ



ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

Архив фотографий НАСА
<http://apod.nasa.gov/apod/archivepix.html>

Мемориальный музей космонавтики
<http://www.museum.ru/m329#web>



ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Первый закон Ньютона: существуют такие системы отсчёта, относительно которых поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной, если на него не действуют другие тела или действие других тел компенсируется.
- Системы отсчёта, в которых выполняется закон инерции, называются инерциальными, а системы, в которых этот закон не выполняется, — неинерциальными.
- Второй закон Ньютона: ускорение тела прямо пропорционально действующей силе, приложенной к телу, и обратно пропорционально его массе.
- Третий закон Ньютона: силы, с которыми два тела действуют друг на друга, равны по модулю и противоположны по направлению.
- Закон сохранения импульса: суммарный импульс тел, составляющих замкнутую систему, в результате взаимодействия тел системы не изменяется.



ТРЕТИЙ

ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

«ПОДРОБНЕЕ...»

Белонучкин В. Е. Кеплер, Ньютон и все-все-все... Библиотечка «Квант». Вып. 78. — М.: Наука, 1990.
 Перельман Я. И. Занимательная физика. Кн. 2. — М.: Римис, 2010.
 Энциклопедия для детей. Т. 14. Техника. — М.: Аванта+, 2001.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Почему футбольный вратарь, блокируя сильный удар нападающего, сначала отбивает мяч ладонями, а лишь затем берёт его в руки?
- При ДТП легковой автомобиль всегда получает большие повреждения, чем грузовой. Как это согласуется с равенством действия и противодействия?
- Может ли ракета двигаться в пустоте?

ИМЕНА В ИСТОРИИ ФИЗИКИ

Фалес Милетский. Древнегреческий философ и математик, считается первым из семи мудрецов Греции. Он внёс значительный вклад в развитие геометрии, астрономии, космологии и философии.

Фалес является основателем учения об электричестве. Он исследовал электрические свойства натёртого янтаря, который мог притягивать кусочки ткани, нити, бумаги.

Уильям Гильберт. Английский физик, считается основоположником науки об электричестве.

Гильберт показал, что способностью притягивать лёгкие тела обладает не только натёртый янтарь, но и другие тела, которые он назвал электрическими, впервые введя этот термин. В своём сочинении «О магните, магнитных телах и большом магните — Земле...» Гильберт описал исследования магнитных и электрических явлений. Он установил, что магнит имеет два полюса — северный и южный, при этом одноимённые полюсы отталкиваются, а разноимённые — притягиваются. Нельзя получить магнит с одним полюсом. Гильберт также обнаружил, что железные предметы под влиянием магнита приобретают магнитные свойства, пришёл к выводу, что Земля — это большой магнит, и объяснил отклонение магнитной стрелки.

Галилео Галилей. Великий итальянский физик и астроном, впервые применивший экспериментальный метод исследования в науке.

Галилей изучал инерцию и свободное падение тел. В частности, он заметил, что ускорение свободного падения не зависит от массы тела. Тем самым он опроверг господствовавшее со времён Аристотеля мнение, что «скорость падения» пропорциональна весу тела.

Галилей является одним из основоположников принципа относительности в классической механике. Он заметил, что при одинаковых начальных условиях любое механическое явление протекает одинаково в изолированной системе, находящейся в покое либо движущейся прямолинейно и равномерно.

Исаак Ньютон. Английский физик и математик, заложивший основы современного естествознания, создатель классической физики.

Ньютону принадлежит первая систематическая публикация закона всемирного тяготения и трёх законов механического движения (законы Ньютона): закона инерции, закона пропорциональности силы ускорению и закона действия и противодействия.

Он дал достаточно полную теорию движения небесных тел, создав основы небесной механики. Ньютон показал, что планеты вращаются вокруг Солнца благодаря его притяжению. В его честь названа единица силы в Международной системе единиц — ньютон.



ок. 590—547 гг. до н. э.



1544—1603



1564—1642



1642—1727



1701—1744

Андерс Цельсий. Шведский учёный, предложивший стоградусную температурную шкалу. Работы Цельсия посвящены астрономии, физике и геофизике.

Цельсий предложил использовать стоградусную шкалу термометра, в которой за 0° принималась температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении, а за 100° — температура таяния льда. Деление этой шкалы составляло $1/100$ этой разницы, т. е. 1° . Однако позже биолог К. Линней и астроном М. Штрёмер «перевернули» эту шкалу, приняв за 0° температуру таяния льда. Эту шкалу называют теперь шкалой Цельсия.



1707—1783

Леонард Эйлер. Великий математик, механик и физик, швейцарец по происхождению. В 1727 г. переехал в Россию.

Круг интересов Эйлера был очень широк и охватывал большинство разделов известной тогда математики и механики. В механике Эйлер впервые попытался описать движение материальной точки с помощью математических формул, рассмотрел свободное движение точки под действием различных сил в пустоте, а также в среде, т. е. при наличии сопротивления, заложил основы кинематики и динамики твёрдого тела.



1731—1810

Генри Кавендиш. Английский физик. Кавендиш изучал взаимодействие электрических зарядов, предвосхитив закон Ш. Кулона, ввёл понятие ёмкости. Он сконструировал крутильные весы и измерил с их помощью силу притяжения двух сфер, подтвердив закон всемирного тяготения, а также определил гравитационную постоянную, массу и среднюю плотность Земли.

В работах, посвящённых теплоте и молекулярной физике, Кавендиш предположил, что теплота является следствием внутреннего движения частиц. Он получил водород и изучил его свойства, определил состав воздуха и химический состав воды.



1737—1798

Луиджи Гальвани. Итальянский врач, один из основателей учения об электричестве, основоположник экспериментальной электрофизиологии.

Гальвани открыл и исследовал феномен сокращения мышц препарированной лягушки под влиянием электрического тока и объяснил эти явления существованием «животного электричества». Результаты наблюдений и свою теорию он изложил в работе «Трактат о силах электричества при мышечном движении». Опыты Гальвани, получившие правильную трактовку в работах А. Вольты, способствовали изобретению гальванического элемента.

Алессандро Вольта. Итальянский физик, химик и физиолог, один из основоположников учения об электричестве.

Вольта изобрёл ряд электрических приборов, среди которых электрофор — прибор, наглядно иллюстрирующий электризацию тел, чувствительный электроскоп с соломинками, плоский конденсатор. Вольта показал, что явления, наблюдаемые в опытах с «животным электричеством», связаны с наличием замкнутой цепи, состоящей из двух разнородных металлов и жидкости. Он изобрёл первый источник постоянного тока — так называемый вольтов столб.

Именем учёного названа единица напряжения — вольт.



1745—1827

Бенджамин Томпсон (граф Румфорд). Английский физик. Установил связь между трением и теплотой, сделал вывод о том, что теплота является особым видом движения — движением частиц вещества. Данное утверждение учёного легло в основу термодинамики.

Томпсон открыл и исследовал явление конвекции в газах и жидкостях, изучал теплопроводность различных тел, сделал вывод о том, что, чем лучше поверхность отражает тепловые лучи, тем меньше она излучает тепла. Он также сконструировал специальные термометры и фотометры, предназначенные для изучения поглощения света веществом.



1753—1814

Шарль Огюстен Кулон. Французский физик, исследователь электромагнитных и механических явлений.

Кулон поставил большое число опытов по определению зависимости силы трения покоя и силы трения скольжения от нормального давления, площади тел, состояния их поверхности, относительной скорости движения и т. д. Кулон также занимался исследованием кручения тонких шёлковых и металлических нитей.

Он изобрёл знаменитые крутильные весы — прибор для измерения малых сил, обладавший уникальной для того времени чувствительностью. С помощью этого прибора Кулон экспериментально установил основной закон электростатики (закон Кулона). В честь учёного названа единица электрического заряда — кулон.



1736—1806

Андре Мари Ампер. Французский физик, знаменитый математик и естествоиспытатель, один из основоположников электродинамики.

Ампер предложил правило для определения направления действия магнитного поля тока на магнитную стрелку (правило Ампера), построил первую теорию магнетизма, согласно которой в основе всех магнитных взаимодействий лежат круговые молекулярные токи. Ампер установил, что катушка (соленоид), по которой протекает электрический ток, ведёт себя подобно постоянному магниту.

В честь учёного единица силы тока названа ампером, а прибор для измерения силы тока — амперметром.



1775—1836



1777—1851

Ханс Кристиан Эрстед. Датский физик, исследователь электромагнетизма.

Эрстед установил связь между электрическими и магнитными явлениями в опытах по отклонению магнитной стрелки под действием проводника с током. Эти явления были названы электромагнетизмом. Он первым предположил, что свет имеет электромагнитную природу.



1787—1854

Георг Симон Ом. Немецкий физик, установил основной закон электрической цепи, названный его именем.

Ом ввёл понятие «сопротивление» и предположил, что проводник как бы сопротивляется току. Он показал, что сопротивление зависит от материала проводника, прямо пропорционально его длине и обратно пропорционально площади поперечного сечения.

Ом экспериментально открыл закон, связывающий между собой силу тока, напряжение и сопротивление (закон Ома). Именем учёного названа единица сопротивления — ом.



1791—1867

Майкл Фарадей. Английский физик и химик, основоположник учения об электромагнитном поле.

Фарадей занимался исследованием связи между электрическими и магнитными явлениями. Он доказал тождественность известных тогда видов электричества: «животного», «магнитного», термоэлектричества, электричества, возникающего от трения, гальванического электричества. Фарадей проводил эксперименты по исследованию прохождения тока через растворы кислот, солей и щелочей, результатом которых стало открытие законов электролиза (законы Фарадея).

Фарадей ввёл в науку такие понятия, как катод, анод, ионы, электролиз, электроды, изобрёл вольтметр. Он первым ввёл понятие поля, употребил термин «магнитное поле» и сформулировал свою теорию поля.



1801—1874

Борис Семёнович Якоби. Русский физик и электротехник, изобрёл электродвигатель, создал гальванотехнику, исследовал электромагниты. Якоби построил первую модель работающего электродвигателя. Он изобрёл гальванопластику — получение точных копий металлических и неметаллических изделий путём электролиза.

Якоби принадлежат работы в области телеграфии. Он сконструировал около 10 типов телеграфных аппаратов, в том числе первый буквопечатающий телеграфный аппарат. Он руководил прокладкой первых кабельных линий в Петербурге и между Петербургом и Царским Селом длиной около 25 км.

Эмилий Христианович Ленц. Русский физик и электротехник, основные работы относятся к области электричества и магнетизма.

Ленц установил так называемое правило Ленца для определения направления тока, возникающего в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного поля, проходящего через него.

Независимо от Дж. Джоуля он установил закон теплового действия электрического тока (закон Джоуля—Ленца).

В совместной работе с Б. С. Якоби Ленц разработал методы расчёта электромагнитов в электрических машинах. Также Ленц изучал зависимость сопротивления проводников от их температуры.



1804—1865

Джеймс Прескотт Джоуль. Английский физик, член Лондонского королевского общества.

Джоуль открыл закон зависимости между силой тока и выделенным этим током в проводнике теплом (закон Джоуля—Ленца), нашёл численное отношение между работой и количеством произведённого ею тепла.

Джоуль занимался доказательством существования количественного соотношения между «силами» разной природы, приводящими к выделению тепла. Разные опыты привели его к определению механического эквивалента теплоты и открытию закона сохранения энергии. Впоследствии его именем была названа единица всех видов энергии — джоуль.

Также Джоуль исследовал тепловые явления при сжатии и расширении газа. Он вычислил скорость движения молекул газа и установил её зависимость от температуры.



1818—1889

Этьен Ленуар. Французский изобретатель.

Ленуар собрал первый двигатель внутреннего сгорания, работавший на всасываемой газовойоздушной смеси, которая воспламенялась с помощью электрической искры. Его мощность составляла 1,5 л. с., а КПД был всего 4 %. Двигатель имел большой коммерческий успех и использовался для различных целей.



1822—1900

Уильям Томсон (Кельвин). Английский физик, один из создателей той области науки, которую сейчас называют термодинамикой.

Томсон ввёл понятия абсолютной температуры и абсолютной шкалы температур, позднее названной его именем (шкала Кельвина). Он вычислил, что ни одно вещество не может быть охлаждено до температуры ниже $-273,15^{\circ}\text{C}$.

Томсон сформулировал (независимо от Р. Клаузиуса) второе начало термодинамики — закон, по которому тепло не может передаваться от холодного тела к горячему. Он получил формулу для коэффициента полезного действия тепловой машины, в которую входят температуры нагревателя и холодильника.



1824—1907



1831—1879

Джеймс Клерк Максвелл. Английский физик, создатель классической электродинамики, один из основателей статистической физики.

Максвелл сформулировал теорию электромагнитного поля в виде системы уравнений (уравнения Максвелла), которые описывали основные закономерности электромагнитных явлений. Также Максвелл пришёл к выводу, что свет является электромагнитным излучением, и показал связь между оптическими и электромагнитными явлениями. Им был создан один из первых приборов для количественного измерения цвета, получивший название диска Максвелла.



1847—1923

Александр Николаевич Лодыгин. Русский электротехник, создатель лампы накаливания.

Работы по созданию электрооборудования летательных аппаратов привели Лодыгина к изобретению лампы накаливания. В своих первых опытах с лампами Лодыгин производил накаливание током железной проволоки, затем угольного стержня, помещённого в стеклянный баллон.

Срок службы первых ламп был всего 30—40 мин. Дальнейшие усовершенствования (включение нескольких стержней, выкачивание воздуха из колпака) позволили увеличить срок службы лампы до 700—1000 ч.



1847—1931

Томас Альва Эдисон. Американский физик и изобретатель в области электротехники.

Эдисон является автором множества изобретений. Он усовершенствовал лампу накаливания. Подбирая материал для нити накаливания, после тысяч экспериментов он создал лампу с угольной нитью, помещённой в стеклянный шар, из которого выкачан воздух. Эдисон также разработал систему освещения, сконструировал патрон и цоколь с резьбой для лампы. Он ввёл в практику параллельное включение ламп, построил мощные в то время электрогенераторы и запустил первую тепловую электростанцию.



1853—1881

Николай Иванович Кибальчич. Русский изобретатель, автор первого русского проекта реактивного двигателя и летательного аппарата для полётов людей.

Кибальчич исследовал возможности применения пороха для летательных аппаратов, разработал оригинальный проект летательного аппарата, способного совершать космические полёты.

Джозеф Джон Томсон. Английский физик, получивший Нобелевскую премию по физике за работы, которые привели к открытию электрона.

Томсон, исследуя отклонение лучей, называемых катодными, в электрическом и магнитном полях, показал, что они представляют собой поток отрицательно заряженных частиц. Он вычислил отношение заряда этой частицы к её массе. Оказалось, что масса частиц приблизительно в 1837 раз меньше массы атома водорода. Эти частицы называли электронами.

Томсон предложил одну из первых моделей атома, согласно которой атом представляет собой положительно заряженную сферу, внутри которой находятся отрицательно заряженные электроны.



1856—1940

Константин Эдуардович Циолковский. Русский учёный.

Циолковский разработал конструкции цельнометаллического управляемого дирижабля, обтекаемого аэроплана, поезда на воздушной подушке, построил первую в России аэродинамическую трубу и провёл её испытания.

Циолковский обосновал реальные возможности применения реактивных приборов для межпланетных сообщений, заложил основы теории ракет и жидкостных ракетных двигателей. Учёный разработал теорию особого вида составных ракет — прообраза современных многоступенчатых ракет, изучил вопрос об искусственном спутнике Земли и о создании околоземных орбитальных станций, использующих энергию Солнца, и промежуточных баз для межпланетных сообщений.



1857—1935

Пётр Николаевич Лебедев. Русский физик, создатель первой русской научной школы физиков.

Лебедев создал ряд устройств и приборов, с помощью которых доказал существование давления света, т. е. давления, производимого светом на твёрдые тела, а также на газы.

Отдельные работы Лебедева посвящены исследованиям магнетизма, объяснению природы межмолекулярных взаимодействий, происхождения хвостов у комет.



1866—1912

Нильс Хенрик Давид Бор. Датский физик, исследовал строение атомов и испускаемое ими излучение.

Бор создал свою теорию строения атома на основе предложенных им постулатов (утверждений). В 1922 г. ему была присуждена Нобелевская премия по физике за создание квантовой теории строения атома.

Бор внёс большой вклад в развитие ядерной физики. Он является одним из создателей теории деления атомного ядра — процесса, при котором выделяется огромное количество энергии.



1868—1953



1868—1953

Роберт Милликен. Американский физик, получивший Нобелевскую премию по физике за работы по определению элементарного электрического заряда.

Милликен проводил эксперименты по измерению заряда электрона. В своих опытах он наблюдал за поведением заряженных капелек масла в электрическом поле. Тем самым была экспериментально доказана дискретность электрического заряда и впервые точно измерена его величина.



1871—1937

Эрнест Резерфорд. Английский физик, создал планетарную модель атома, лауреат Нобелевской премии по химии.

Резерфорд провёл серию экспериментов по изучению радиоактивности урана. Изучая прохождение альфа-частиц через вещество, Резерфорд предположил, что в атоме имеется положительно заряженное ядро размером около 10^{-12} см. Это открытие привело к созданию новой модели атома, названной планетарной.



1880—1960

Абрам Фёдорович Иоффе. Российский физик, именуемый отцом советской физики, академик, вице-президент Академии наук СССР.

Иоффе выполнил ряд экспериментов, которые позволили вычислить заряд электрона. Он открыл ряд явлений, способствующих началу применения полупроводников в различных технических устройствах. Им была создана методика определения основных свойств полупроводников, система классификации полупроводниковых материалов. Эти работы положили начало развитию новых областей полупроводниковой техники.

Важнейшая заслуга Иоффе — создание школы физиков, из которой вышли многие крупные советские учёные.



1907—1966

Сергей Павлович Королёв. Генеральный конструктор, руководитель космической программы в СССР, учёный, академик. Дважды Герой Социалистического Труда.

С его именем связан запуск первого искусственного спутника Земли и первый полёт человека в космос.

Королёв внёс значительный вклад в развитие отечественной и мировой пилотируемой космонавтики. С его помощью были созданы первые баллистические ракеты, двухступенчатая ракета, которая обеспечивала возможность вывода летательных аппаратов на околоземную орбиту. 4 октября 1957 г. на околоземную орбиту был запущен первый искусственный спутник Земли.

Королёв руководил программой исследования Луны.

В 1961 г. был создан первый пилотируемый космический корабль «Восток-1» и осуществлён первый полёт человека в космос.

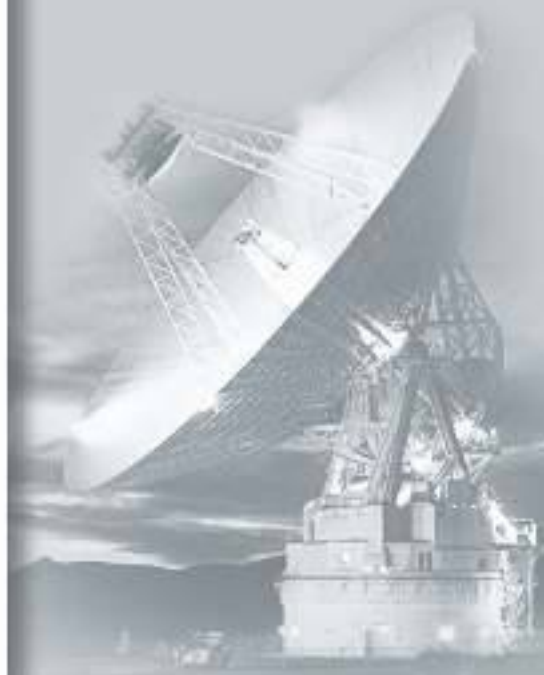
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вот и пройдена последняя глава учебника, заканчивается второй год изучения физики.

Знания о том, из чего состоит вещество, как себя ведут частицы вещества в зависимости от температуры, и многие другие знания, полученные из курса физики 7 класса, помогли вам усвоить новый материал, изложенный в разделе «Тепловые явления», состоящем из тем «Внутренняя энергия», «Изменения агрегатного состояния вещества» и «Тепловые двигатели». Здесь вы познакомились с новым для вас видом энергии — *внутренней энергией тела*, узнали, от чего она зависит и как её можно изменять. При этом вы поднялись на новый уровень понимания одного из самых универсальных законов природы — *закона сохранения энергии*.

При изучении раздела «Электрические и магнитные явления» началось ваше знакомство с миром электричества и магнетизма. Поскольку в этом году вы впервые столкнулись с электрическими и магнитными явлениями, вы начали их изучение на уровне рассмотрения явлений природы, знакомства с основными законами и применением этих законов в технике. Тема «Электрический заряд. Электрическое поле» познакомила вас с такими базовыми физическими понятиями, как *электризация тел, электрический заряд, электрическое поле*. Здесь вы углубили свои знания о строении вещества, узнав, что такое электрон и как устроены атомы вещества. В этом же разделе вы узнали ещё один фундаментальный закон — *закон сохранения заряда*. При изучении тем «Электрический ток» и «Расчёт характеристик электрических цепей» вы познакомились с практическим применением электричества в повседневной жизни. И наконец, из темы «Магнитное поле» вы узнали, как возникает *магнитное поле*, что такое постоянные магниты и что такое магнитное поле Земли.

Завершают курс физики 8 класса темы «Основы кинематики» и «Основы динамики», в которых вам понадобились знания, полученные в 7 классе в разделах «Движение, взаимодействие, масса» и «Силы вокруг нас». Так как к изучению этого раздела вы подошли уже достаточно подготовленными не только по физике, но и по математике, здесь вы столкнулись с более широким использованием математического аппарата для формулирования физических законов, понимания физических явлений и решения физических задач. В теме «Основы кинематики» вы научились описывать различные виды движения без изучения причин, его вызывающих, а в теме «Основы динамики» вы сосредоточились именно на изучении причин, вызывающих движение.





Учебное издание

Серия «Сферы»

Белага Виктория Владимировна
Ломаченков Иван Алексеевич
Панебратцев Юрий Анатольевич

ФИЗИКА

8 класс

Учебник для общеобразовательных организаций

Руководитель Центра «Сферы» *А. В. Сильянова*
Выпускающий редактор *В. В. Жумаев*
Художественный редактор *С. Г. Куркина*
Компьютерная вёрстка *Э. В. Ленчевской*
Художественное оформление *О. В. Поповича, С. В. Ермолина,*
Э. В. Ленчевской, С. Г. Куркиной, С. Н. Аминевой, Е. В. Петросовой,
И. В. Шорниковой, А. Г. Шишова
Дизайн обложки *О. В. Поповича, В. А. Прокудина*
Технический редактор *С. Н. Терехова*
Корректор *Л. А. Ермолина*

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93—953000.
Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать 00.00.17.
Формат 84×108¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура SchoolBookCSanPin. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 15,59. Тираж 2000 экз. Заказ № .

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».
127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.